This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

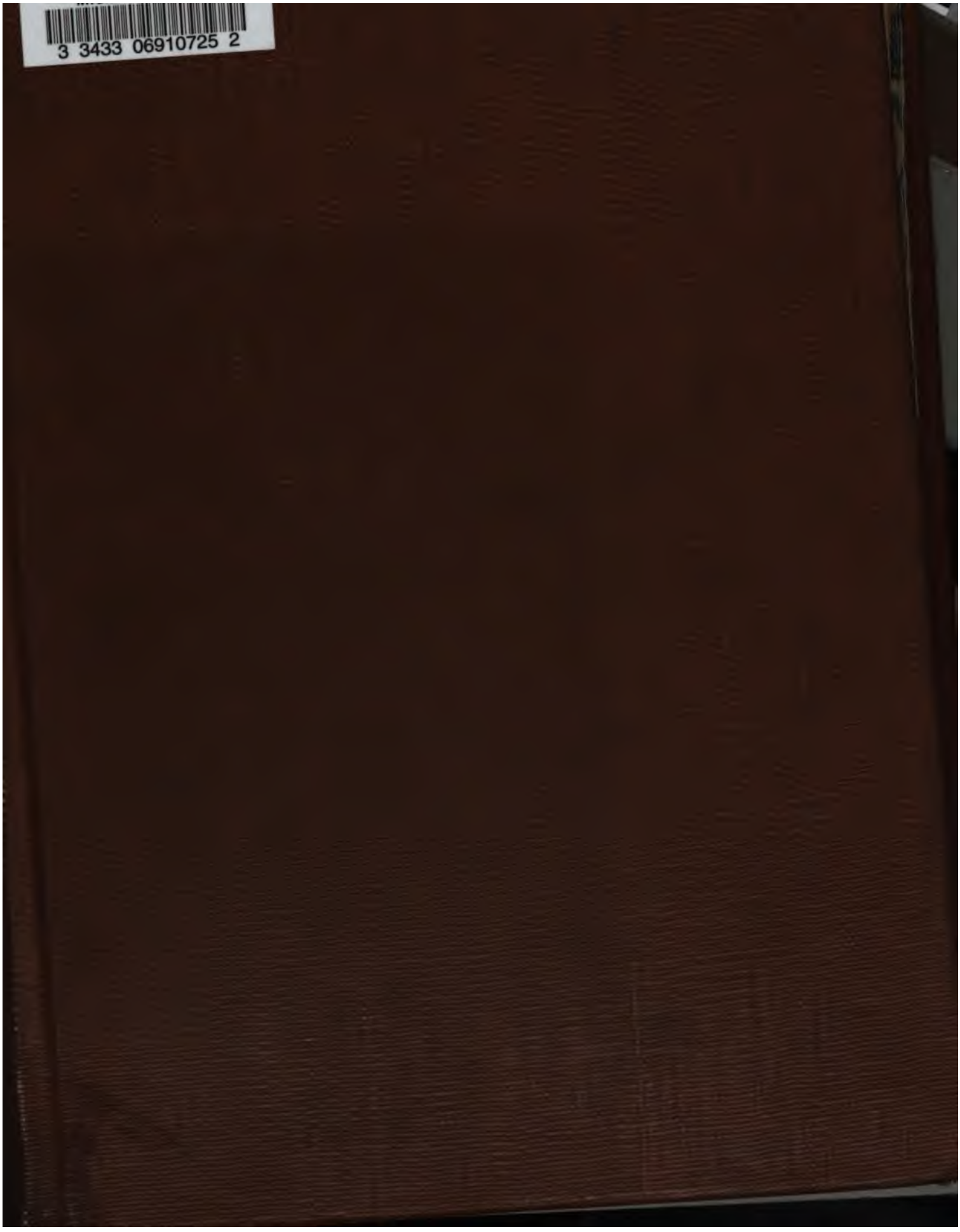
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


3 3433 06910725 2

ESSAI
SUR
L'HORLOGERIE.

TOME SECOND.

ESSAI
SUR
L'HORLOGERIE;

DANS LEQUEL ON TRAITE DE CET ART

RELATIVEMENT A L'USAGE CIVIL,

A L'ASTRONOMIE ET A LA NAVIGATION,

EN ÉTABLISSANT DES PRINCIPES CONFIRMÉS PAR L'EXPÉRIENCE.

Dédié aux Artiſtes & aux Amateurs.

Par M. FERDINAND BERTHOUD, *Horloger.*

TOME SECOND.

Avec Figures en Taille-douce.

ASTOR LIBRARY
NEW-YORK

A PARIS,

Chez { J. CL. JOMBERT, Libraire, rue Dauphine, à la belle Image.
MUSIER, Libraire, quai des Auguſtins.
CH. J. PANCKOUCKE, Libraire, rue & près la Comédie Françoiſe.

M. DCC. LXIII.

Avec Approbation & Privilege du Roi.

NEW YORK
PUBLIC
LIBRARY

ПВБУМА
МВПС
ИЕАЛОЖК

TABLE
DES CHAPITRES
Contenus dans cette ſeconde Partie.

CHAPITRE PREMIER. *Du Levier*, Page 2

CHAP. II. *Des Roues & Pignons*, 3

CHAP. III. *Du Calcul de la force tranſmiſe par le moteur à la derniere roue d'un rouage*, 6

CHAP. IV. *Des Engrenages des roues & pignons : des défauts des mauvais engrenages*, 11

CHAP. V. *Démonſtration de l'engrenage : des Courbes des dents des roues & pignons : De la maniere de tracer les courbes*, 13

CHAP. VI. *Du Calcul des révolutions des roues*, 24

Méthode pour trouver les révolutions des roues ou rouages quelconques, ſans employer les fractions : Celle de déterminer le nombre de dents que l'on doit mettre aux roues d'échappement pour une longueur de pendule donnée, 25

CHAP. VII. *Uſage du calcul des fractions pour trouver le temps de la marche des Pendules ou Montres, le nombre de dents que l'on doit mettre aux roues d'échappement*, 30

CHAP. VIII. *Méthode pour trouver le nombre de dents qu'il faut mettre aux roues d'un rouage donné*, 38

Regle générale pour trouver le nombre des dents des roues & des pignons qui doivent produire un nombre de tours donné, 40

PROBLEME I. Trouver les dents des roues pour former un rouage de Montre, qui ſoit tel, que tandis que la roue des minutes fait un tour, le balancier batte 15200 vibrations, 45

PROBLEME II. Trouver les nombres à mettre à un rouage, pour avoir une roue qui acheve ſa révolution en 365 jours, 46
PROBLEME III. Trouver les nombres de dents des roues propres à former un rouage, pour qu'une roue faſſe un tour en 365 jours 6 heures, *ibid*
PROBLEME IV. Trouver les nombres de dents qu'il faut mettre à un rouage d'horloge, pour le faire marcher 96 jours ſans remonter, 47
PROBLEME V. Trouver le nombre de dents qu'il faut mettre à un rouage de Montre à ſecondes d'un ſeul battement, pour la faire marcher un an ſans remonter, 49

CHAP. IX. *Du Pendule ſimple*, 52

PROBLEME I. La longueur d'un pendule étant donné, trouver combien il doit faire de vibration par heures, 154
PROBLEME II. Le nombre de vibrations qu'un pendule doit faire par heure étant donné, trouver la longueur de ce pendule, *ibid.*
Uſage de la table des longueurs des pendules, 57

CHAP. X. *Des propriétés du Pendule ſimple*, 57
CHAP. XI. *De la maniere la plus avantageuſe de ſuſpendre un pendule pour lui faire conſerver le plus longtemps poſſible le mouvement imprimé*, 59

DESCRIPTION de la Machine propre à faire des expériences ſur les ſuſpenſions & ſur la réſiſtance de l'air, *ibid.*

CHAP. XII. *Des réſiſtances qu'éprouve un Pendule qui ſe meut dans l'air*, 64
CHAP. XIII. *Des Expériences faites ſur le Pendule* libre, 67
CHAP. XIV. *De la force requiſe pour entretenir le mouvement d'un Pendule, ſelon que les arcs qu'il décrit ſont grands ou petits : Comparaiſon de cette force avec la quantité de mouvements du pendule dans ces différends cas*, 77

PROBLEME I. Trouver la force qui ſeroit requiſe pour entretenir le mouvement d'un pendule à ſecondes, dont la lentile peſe 21 liv. $\frac{1}{4}$, & qui décriroit 10 liv. *ibid.*
PROBLEME II. Trouver la force requiſe pour entretenir ce même pendule, lorſqu'il décrit des arcs d'un degré, 79

PROBLEME III. Trouver la force requiſe pour entretenir le mouvement du même pendule, lorſqu'il décrit 15 minutes ou $\frac{1}{4}$ de degré, 81

CHAP. XV. *Suite du cacul ſur le Pendule libre*, 84

PROBLEME I. Trouver la force requiſe pour entretenir le mouvement d'un pendule à ſecondes qui décrit 10 degrés, & dont la lentille peſe 7 liv. 5 onces, pour ſervir à comparer avec la force employée à entretenir le mouvement du pendule qui peſe 21 liv. $\frac{1}{4}$. *ibid.*

PROBLEME II. Comparer la force de mouvement d'un pendule à ſecondes avec celui à demi-ſecondes, qui décrit les même arcs, & dont la lentille eſt de même peſanteur, 86

PROBLEME III. De la force requiſe pour entretenir le mouvement du pendule dont la lentille peſe 63. 88

CHAP. XVI. *Des Pendules qui ſont mus par l'action inégale des reſſorts*, 91

Différences des Oſcillations des Horloges à reſſort; 92

Expérience faite ſur une Horloge à demi-ſeconde, dont l'échappement eſt à repos, 93

CHAP. XVII. *Deſcription de la Machine que j'ai conſtruite pour vérifier les effets des échappements, & le changement qu'ils cauſent aux Pendules libres, & ſelon la nature de l'échappement*, 95

Expérience ſur un échappement rendu iſochrone, 101

CHAP. XVIII. *De la dilatation & contraction des métaux par le chaud & le froid*, 102

CHAP. XIX. *Deſcription du Pyrometre que j'ai compoſé pour faire les expériences ſur la dilatation & contraction des Métaux*, 105

CHAP. XX. *Précis des Expériences que j'ai faites ſur les dilatations de différents corps*, 111

Table de ces dilatations; 114

Remarques ſur la maniere dont ces expériences ont été faites, 115

Expérience faite ſur une verge de fer doré, 116

CHAP. XXI. *Calcul de la variation des Horloges cauſée par l'extenſion & contraction de la verge du pendule*, 118

CHAP. XXII. *Deſcription & calcul d'un Pendule compoſé pour compenſer la dilatation & contraction de la verge,* 122

EXPÉRIENCE faite avec ce pendule, 127
CONSTRUCTION d'une verge de pendule compoſée de deux regles: Expériences faites avec cette verge, 128
DESCRIPTION du pendule à canon de M. de Rivaz, 130
REMARQUE ſur la maniere de graduer l'écrou qui ſoutient la lentille pour régler l'horloge, 131

CHAP. XXIII. *Des verges compoſées pour compenſer de la maniere la plus avantageuſe les effets de la dilatation & contraction des Métaux: Du calcul & dimenſion de ces vnrges,* 133

I. PROPOSITION pour ſervir à ce calcul, *ibid*
II. PROPOSITION, 134
DESCRIPTION d'un Pendule compoſé à chaſſis, 138
PROBLEME. Trouver les dimenſions du pendule à chaſſis, 139

CHAP. XXIV. *Deſcription de l'Horloge que j'ai compoſée pour les Obſervations aſtronomiques,* 143
CHAP. XXV. *Du Régulateur des Montres,* 151
CHAP. XXVI. *Du Reſſort ſpiral des vibrations qu'il produit au balancier,* 152
CHAP. XXVII. *Réflexions ſur la nature du meilleur balancier de Montre,* 155
CHAP. XXVIII. *Du balancier régulateur des Montres: De la maniere de déterminer celui qui eſt le plus propre à meſurer le temps,* 156

AXIOME *ou* PRINCIPE, *ibid.*
II. PRINCIPE, *ibid.*
III. PRINCIPE, 157
I. PROPOSITION ſur les balanciers, 157
II. PROPOSITION, 158
III. PROPOSITION, 160

CHAP. XXIX. *Des Frottements; pour ſervir à la théorie des Montres: Des effets du chaud & du froid ſur l'huile que l'on met à ces machines, afin d'en diminuer les frottements,* 163

Maniere de réduire le frottement, 164
De l'effet des huiles pour diminuer le frottement, 167

CHAP. XXX. *Des effets du chaud & du froid ſur les Montres. Comment il arrive que la chaleur retarde ou accélere la vîteſſe des vibrations du balancier, ſelon la nature des frottements, la diſpoſition du balancier, &c. & produit ainſi des effets contraires: moyens de compenſer ces vices inſéparables des Montres*, 173

CHAP. XXXI. *Des expériences que j'ai faites pour vérifier les principes établis ſur la compenſation des effets du chaud & du froid dans les Montres. Maniere de parvenir à cette compenſation*, 181

DESCRIPTION d'un inſtrument que j'ai compoſé pour éprouver les Montres par le chaud & le froid, 188

CHAP. XXXII. *De l'uſage des échappements: Leurs propriétés de l'iſochroniſme, des vibrations du balancier: Comment on peut y parvenir*, 189.

CHAP. XXXIII. *Principe ſur les forces de mouvement des balanciers*, 195

CHAP. XXXIV. *De la maniere de calculer les peſanteurs que doivent avoir les balanciers relativement au moteur, à l'étendue des arcs, diametres, nombres de vibrations, &c.* 198

CHAP. XXXV. *De la puiſſance motrice d'une Montre, (du reſſort)*, 210

CHAP. XXXVI. *Deſcription d'une Montre à ſecondes, à deux vibrations par ſecondes*, 214

CHAP. XXXVII. *Deſcription d'une Montre à ſecondes qui va 8 jours ſans remonter. Le régulateur formé par deux balanciers qui font une vibration par ſeconde. Expériences ſur les vibrations lentes*, 216

CHAP. XXXVIII. *Recherches & expériences concernant les Horloges aſtronomiques*, 221

De la ſuſpenſion du pendule, 227

CHAP. XXXIX. *Deſcription de l'Horloge aſtronomique*, 229

Du MOUVEMENT, 231
De la SONNERIE des ſecondes, 232

CHAP. XL. *De l'utilité de l'Horlogerie pour la Marine, & pour découvrir les longitudes en mer,* 235

De la LONGITUDE des lieux ſur le globe terreſtre, 238

CHAP. XLI. *Examen des principes que l'on doit ſuivre dans la compoſition d'une Horloge Marine, au moyen de laquelle on puiſſe déterminer les longitudes en mer,* 245

Cauſes de l'iſochroniſme des vibrations du pendule, & de la juſteſſe d'une Horloge aſtronomique, 246
RECHERCHES pour parvenir à ſubſtituer un régulateur aux Horloges Marines, qui ait les mêmes propriétés que le pendule, 249

CHAP. XLII. *Deſcription de l'Horloge Marine que j'ai compoſé pour ſervir à la navigation, & à déterminer les longitudes de mer,* 258

CHAP. XLIII. *Détail de main-d'œuvre, calcul & expérience concernant l'Horloge marine,* 272

Des RESSORTS ſpiraux des balanciers, *ibid.*
Des AGATHES, dans leſquelles roulent les pivots des balanciers, 274
De l'ECHAPPEMENT, 276
Des VERGES de compenſation pour corriger les variations par le chaud & le froid, 278
DIMENSION de ces verges, 280
DIMENSION actuelle des verges de compenſation, 282

CHAP. XLIV. *Conſtruction d'une Horloge Marine plus ſimple que la précédente,* 286

Des obſtacles que cauſe le reſſort employé pour moteur d'une Horloge Marine, 287
Moyens d'appliquer le poids pour moteur de l'Horloge Marine, *ibid.*
Des autres parties de l'Horloge, 289
Deſcription de cette Horloge, 291
Détail du poids; de la detente, de la ſuſpenſion de l'Horloge & des pivots de balanciers, 294
Remarque ſur cette Horloge, 297

Deſcription d'une Horloge Marine d'un ſeul balancier horizontal & & ſuſpendu. Cette Horloge eſt à poids; elle a des verges de compenſation, &c. *ibid.*

CHAP. XLV. *Additions & Expériences ſur les verges de pendule propres à corriger les dilatations & contractions des Métaux, &c.* 299

1°, Expérience faite avec un pendule à chaſſis, *ibid.*
2°, Remarque ſur la conſtruction d'un pendule de trois verges, 300
3°, Dimenſion & deſcription de ce pendule, 303
4°, Remarques ſur les verges ſimples de pendule, 305
5°, Expériences ſur les effets des réſiſtances des huiles & les frottements de l'échappement à repos dans une Horloge aſtronomique, 306
6°, Expérience faite avec une Horloge à ſecondes ſur les effets de l'échappement à repos, 307
7°, Note ſur les couteaux de ſuſpenſion, 308
8°, Méthode pour prendre très-exactement l'heure du temps moyen par le paſſage du ſoleil au méridien pour ſervir à régler l'Horloge, 309

CHAP. XLVI. *Additions à différentes parties des Montres*, 310

1°, Sur le calcul des peſanteurs de balancier, *ibid.*
2°, Deſcription du Compas propre à meſurer exactement les groſſeurs des pivots, 311
3°, Sur les réſiſtances des huiles pour la compenſation de l'action du chaud & du froid ſur le ſpiral, 312
4°, Propoſition ſur cette compenſation, 313
5°, Dimenſion d'une Montre à ſecondes, dont l'échappement eſt à cylindre, 316
6°, Sur les frottements du Cylindre; 317
7°, Remarques ſur la maniere de rendre les frottements conſtants, 320
8°, Deſcription d'une Machine à fendre toutes ſortes de roues de Montres, roues plates, rochets, roues de rencontre ennarbrées: elle ſert auſſi à fendre les roues de cylindre, 322
9°, De l'Outil à tailler les fraiſes pour exécuter les roues de cylindre, 337
10°, De l'exécution de l'échappement à cylindre, 338

Remarque ſur la cheville de renverſement du balancier d'une Montre à ſecondes à vibrations lentes, 343
12°, De l'Outil à égaliſer les roues de rencontre; 344

CHAP. XLVII. *De la conſtruction & de l'exécution d'une Montre dans laquelle on réunit tout ce qui peut contribuer à ſa juſteſſe*, 347

Obſervations préliminaires pour ſervir à la conſtruction de la Montre, 348
Deſcription de cette Montre, 363
Détails de pratique pour l'exécution de la Montre à roue de rencontre, 374
Faire les platines, & monter la cage, 375
Du finiſſage de la Montre, 398
De l'exécution de l'échappement du Balancier, 404
De la verge de Balancier, 407

FIN de la Table des Chapitres de la ſeconde Partie.

ESSAI
SUR
L'HORLOGERIE.

SECONDE PARTIE.

CHAPITRE PREMIER.

1402. JUSQUES ici j'ai traité de l'Horlogerie, en ſuivant la route ordinaire des Auteurs qui ont écrit de cet Art; c'eſt-à-dire, en me bornant ſimplement aux deſcriptions des machines, & en preſcrivant certains ſoins de main-d'œuvre aux Ouvriers. Il reſte une partie plus eſſentielle, & dont on n'a point encore écrit, c'eſt d'établir une théorie & des principes de conſtruction, fondés ſur les loix du mouvement, & vérifiés par l'expérience, & d'après leſquels on puiſſe partir, pour diſpoſer & exécuter les machines qui meſurent le temps, enſorte qu'elles marchent avec la plus grande juſteſſe poſſible: voilà le but que je me ſuis propoſé dans cette ſeconde Partie de mon *Eſſai*. Je ſuis fort

éloigné de penſer que j'aie rempli cet objet; mais j'en ai du moins tracé le chemin; & j'ai eſſayé de traiter cette matière, de ſorte que les Artiſtes à qui mon Ouvrage eſt deſtiné, puiſſent en profiter. Je vais donc traiter ſéparément de toutes les parties eſſentielles des machines qui ſervent à la meſure du temps, en commençant par les plus ſimples.

Du Levier.

PLANCHE XX.

Définition.

1403. A B (*Pl. XX, fig.* 1), eſt une verge inflexible, à laquelle ſont attachés deux corps *P* & *p* ſans peſanteur (on nomme *Levier* cette verge). Concevons qu'on faſſe tourner la verge autour d'un point fixe *H*, & que le corps *P* décrivant l'arc *A a*, le corps *p* décrive l'arc *B b*; il eſt viſible que les arcs *A a*, *B b* ſeront dans le rapport des diſtances *H A*, *H B*; c'eſt-à-dire, par exemple, que ſi *B H* eſt double, triple, &c, de *A H*; *B b* ſera double, triple, &c, de *A a*; donc le corps *p* tournera avec une vîteſſe double, triple, &c, de celle du corps *P*: Donc,

1404. 1°, Si ces corps ſont égaux; pour arrêter immédiatement le corps *p*, il faudra une force double, triple, &c, de celle qui ſeroit néceſſaire pour arrêter immédiatement le corps *P*:

1405. 2°, Si le corps *p* eſt triple du corps *P*, il eſt viſible que *P* décrivant toujours *A a*, & *p*, *B b*, on pourra, au lieu du corps *p*, concevoir trois maſſes égales à *P*, dont chacune ſeroit animée de la vîteſſe *B b*; & alors la force néceſſaire pour arrêter immédiatement *p*, ſera triple de ce qu'elle devoit être dans le cas précédent; donc ſi la maſſe *p*, au lieu d'être triple de *P*, n'eſt au contraire que le tiers, la force néceſſaire pour l'arrêter, devra être trois fois moindre que dans le même cas précédent; donc elle devra être égale

à celle qui arrêteroit immédiatement le corps *P*; donc la distance *H B* étant triple de la distance *A H*, si la masse *p* est au contraire le tiers de la masse *P*, ces masses pourront chacune être arrêtée par la même force; donc elles pourront être arrêtées l'une par l'autre : donc si l'on imagine ces deux masses pesantes, leurs efforts pour tourner étant alors directement opposés & égaux, elles se feront mutuellement équilibre. Par un raisonnement tout-à-fait semblable, on verra que si la distance *B H* est quadruple, quintuple, &c, de la distance *A H*, & la masse *p*, le quart, le cinquieme, &c, de la masse *P*, elles se feront équilibre, d'où l'on déduira en général ce principe : *Si deux masses* P *&* p *attachées aux extrémités d'une verge inflexible* A B, *sont telles que la masse* P *contienne autant de fois la masse* p, *que le bras du levier* H B *contient le bras* A H, il y aura équilibre.

CHAPITRE II.

Des Roues & Pignons.

1406. SI AUTOUR du point *H* (*fig.* 2) on décrit deux cercles *A a*, *B b* qui ayent pour rayons les longueurs *A H* & *H B* des leviers (nous supposons *H B* triple de *A H*), & sur la circonférence desquels soient enveloppés, comme sur des poulies dont le point *H* soit le centre, deux fils chargés des poids *P*, *p*; ces poids resteront en équilibre, si la masse *p* est à celle de *P* comme *H A* est à *H B* (1405); & si l'on veut communiquer au poids *P* une force capable de le faire descendre dans un temps donné de *P* en *C*, enforte que le point *A* vienne en *a*; alors il faudroit que le poids *p* montât en *d*, & que le point *B* vînt en *b*; le poids *p* feroit conséquemment trois fois plus de chemin que le poids *P*.

1407. D'où il suit : 1°, que le mouvement qu'on auroit

voulu communiquer au poids *P*, ſeroit exactement compenſé par celui qui en réſulteroit dans le poids *p*, & qu'ainſi ces deux poids ne peuvent manquer de ſe maintenir en équilibre, ou de s'y remettre, ſi, après qu'on les a mis en mouvement, on les laiſſe en liberté; puiſque, ſelon la ſuppoſition, *A a* & *B b* ſont des poulies, & que par conſéquent *H A* eſt égal à *H a*, & *H B* eſt égal à *H b*.

1408. 2°, Il ſuit encore que lorſque deux corps ſe ſoutiennent en équilibre, les vîteſſes qu'ils tendent à acquérir, par un mouvement communiqué, ſont en raiſon inverſe de leurs maſſes.

1409. Maintenant ſi l'on ôte le poids *p*, le poids *P* entraînera le levier & la circonférence *A*, & fera tourner le point *b* avec une force capable de communiquer une action d'une livre (poids ſuppoſé au corps *p*); ainſi, ſi au lieu de la circonférence *B b*, on imagine des rayons ou leviers *H B*, *H b*, &c. (*fig.* 3), & également diſtants l'un de l'autre, chacun de ces leviers agira avec une livre de force. C'eſt en conſidérant les leviers ſous ce point de vue, que cette circonférence devient une roue, & chaque rayon ou levier ſeront des dents: ſi l'on fait une ſeconde roue ou pignon *C* qui ait des rayons ou dents diſtantes entr'elles comme celles de la roue *B*, c'eſt-à-dire, que le nombre de dents de *C* ſoit à celui de *B*, comme la circonférence *C* eſt à celle de *B*, & qu'on place le pignon, enſorte que les dents de la roue puiſſent agir ſur celles de ce pignon, comme dans la figure; les dents de la roue communiqueront aux dents du pignon la force qu'elles ont (*a*), de ſorte que ſi l'on applique à la circonférence de ce pignon un poids d'une livre, il fera équilibre avec celui *P*, rien n'ayant dû changer l'équilibre qui exiſtoit auparavant; & ſi l'on fait mouvoir cette roue

(*a*) Je ne fais pas entrer ici la décompoſition de la force dans l'engrenage, & le frottement qui en réſulte; ce qui retranche toujours une partie de la puiſſance du poids *P*: il ſuffit, pour le moment actuel, d'envisager ces roues comme ſi elles étoient ſans poids & ſans frottement, ainſi qu'il a fallu le faire pour le levier ſimple qu'il falloit ſuppoſer ſans peſanteur: on verra dans le Chapitre cinquieme, quelle doit être la courbure qui doit terminer les dents des roues & pignons.

& ce pignon, la circonférence du pignon parcourra le même eſpace, puiſque chacune de ces dents ſont diſtantes entr'elles comme celles de la roue. Ainſi le nombre des révolutions du pignon ſera à celui de la roue comme la circonférence du pignon eſt à la circonférence de la roue; mais les circonférences des cercles étant entr'elles comme leurs diametres ou leurs rayons, le nombre de révolutions du pignon *C* ſera à celui de la roue *B* comme *C d* eſt à *B H*.

1410. On vient de voir (1409) qu'une roue qui mene un pignon communique à la circonférence de ce pignon, la force qu'elle a à la ſienne: ſoit donc une roue & un pignon que nous avons ſuppoſé avoir une livre de force à leurs circonférences; ſi l'on fixe ſur le centre *C* de ce pignon une roue *D* trois fois plus grande que le pignon, elle parcourra trois fois plus de chemin, & aura trois fois plus de vîteſſe que ce pignon; & pour faire équilibre avec le poids *P*, il ne faudra appliquer au point *D* de la roue qu'un poids trois fois plus léger que *p*, & par conſéquent neuf fois plus léger que *P* (1405); le point *D* va donc neuf fois plus vîte & parcourt un eſpace neuf fois plus grand que le point *A*: paſſons maintenant à la maniere de trouver cette force dans les rouages compoſés de pluſieurs roues, & d'une maniere générale.

REMARQUE.

1411. Nous venons de voir qu'étant donnés les diametres ou les circonférences d'une roue & d'un pignon engrené dans cette roue, le nombre des révolutions du pignon pour un de la roue, eſt déterminé par celui qui exprime combien de fois le diametre du pignon eſt contenu dans celui de la roue. Cela poſé, le nombre des dents d'une de ces deux pieces, c'eſt-à-dire, ou de la roue ou du pignon eſt arbitraire: ainſi l'on peut donner à volonté à une roue 100, 200, &c, dents, ou tout autre nombre quelconque; mais alors il faut que le nombre des dents du pignon ſoit contenu dans le nombre des dents de la roue, autant de fois

que la circonférence de la roue contient celle du pignon ; par exemple, ſur un pignon qui eſt dix fois plus petit que la roue qui le mene, & qui fait par conſéquent dix tours pour un de cette roue, on peut mettre indifféremment ſix, huit, dix dents, douze, quinze, vingt, &c, pourvu que la roue en ait toujours dix fois autant : il ſuit de-là qu'une roue & ſon diametre étant donnés, ainſi que le nombre de tours du pignon qu'elle conduit, le diametre de ce pignon eſt déterminé.

CHAPITRE III.

Du calcul de la force tranſmiſe par le Moteur à la derniere Roue.

1412. LA PROPOSITION ſuivante ſervira à prouver comment on doit calculer les forces tranſmiſes à la derniere roue d'un rouage quelconque.

PROPOSITION.

1413. L'eſpace parcouru par *D* (*fig.* 3) eſt à l'eſpace parcouru par *B*, comme la longueur *C D* eſt à *C d* : c'eſt une ſuite de ce que nous avons fait voir, que l'eſpace parcouru par le pignon *C* eſt le même que celui de la roue *B* (1409) ; & ſi *D C* = *B H*, l'eſpace parcouru par *D* ſera à l'eſpace parcouru par *B*, comme *C d* eſt à *B H* : or le nombre de révolutions du pignon *C* eſt à celui de la roue *B*, comme *C d* eſt à *B H* (1409) : ainſi, afin que la vîteſſe de *D* ſoit à la vîteſſe de *B*, comme le nombre des révolutions du pignon *C* eſt à celui de *B*, il faut que la roue *D* ait le même diametre que la roue *B* à laquelle le poids eſt appliqué ; & dans ce cas la force tranſmiſe à la roue *D* par le poids *p*, eſt au poids de *p*, comme le nombre des révolutions du pignon *C* eſt à celui de la roue *B*.

1414. Nous avons vu (1408) que lorſque deux corps ſont en équilibre, il faut que les vîteſſes ſoïent en raiſon inverſe des maſſes; lors donc que l'on voudra avoir la vîteſſe d'une roue quelconque d'un rouage, il faudra non-ſeulement comparer ſes révolutions avec la roue où le poids eſt appliqué, mais comparer les diametres de l'une & de l'autre roues; car on voit que ſi l'on ſuppoſe la roue *D* (*fig.* 3) plus grande que *B*, l'eſpace parcouru par *D* ne ſera plus dans le rapport de la révolution du pignon *C*, & que par conſéquent il n'y aura plus équilibre; la peſanteur du poids *q* ſera trop grande, & ne ſera pas à celle de *p* comme le nombre de révolutions du pignon *C* eſt à celui de la roue: & au contraire, ſi la roue *D* eſt plus petite que *B*, le poids *q* ſera trop petit pour faire équilibre à *p*; car l'eſpace parcouru par *D* ne ſera plus à l'eſpace parcouru par *B*, comme le nombre des révolutions de *C* eſt à *B*.

1415. On démontrera de la même maniere que quelque ſoit le nombre des roues & pignons, pour trouver la force tranſmiſe à la derniere roue, il faut comparer non-ſeulement les révolutions, mais encore les diametres de la premiere & derniere roues, afin d'avoir les eſpaces parcourus, puiſque les révolutions ne ſuffiſent pas pour donner la vîteſſe.

1416. On tirera donc de-là une regle pour trouver la force tranſmiſe à la circonférence d'une roue; on ſuppoſera la derniere roue du même diametre que la premiere; on fera enſuite la proportion: *Le poids* P *appliqué à la circonférence de la premiere roue eſt au poids* p, *qu'il faut appliquer à la circonférence de la derniere roue pour faire équilibre, comme le nombre des révolutions de cette derniere roue dans un temps donné eſt au nombre des révolutions de la premiere dans le même temps:* Ce poids *p* étant trouvé, on en déduira facilement celui qu'il faudra appliquer pour faire équilibre, lorſque la derniere roue ſera d'un diametre plus grand ou plus petit que celui de la premiere; comme ſi la derniere roue d'un rouage étoit cinq fois plus petite que la premiere, elle parcourroit cinq fois moins d'eſpace que ſi elle eût été d'un

diametre égal; & par conſéquent le poids requis doit être cinq fois plus peſant.

REMARQUE.

1417. NOUS avons ſuppoſé que le poids *P* étoit appliqué à la circonférence de la premiere roue ; mais il arrve ſouvent qu'il n'agit que ſur la circonférence d'un cylindre concentrique à cette roue, & plus petit ; alors on voit que le poids ou la force appliquée à la circonférence du cylindre eſt à la force communiquée à la circonférence de la roue, comme le diametre de la roue eſt au diametre du cylindre ; c'eſt-à-dire, que ſi le diametre de cylindre n'eſt que la moitié de celui de la roue, la force tranſmiſe à la circonférence de la roue *B*, ne ſera que la moitié de celle du poids *P*, & ainſi des autres.

1418. Nous allons maintenant appliquer ce principe, pour trouver la force tranſmiſe à la derniere roue *E* de la Pendule à ſecondes (*Planche II, fig.* 2) ; ce ſont ces mêmes roues qui ſont repréſentées dans la quatrieme figure de la Planche XX. Nous allons premiérement calculer le nombre de révolutions du pignon *d* qui porte la roue *E*, pour un de la roue *A*.

Roue *A*... 84 dents, engrene Pignon *a* de 12 ailes qui fait 7 tours pour un de la roue *A*.

Roue *B*... 80 . . . . Pignon *b* 10 . . . 8 tours pour un de la roue *B*.

56 tours pour un de la roue *A*.

Roue *C*... 80 . . . . Pignon *e* 10 . . . . 8 tours pour un de la roue *C*.

448 tours pour un de la roue *A*.

Roue *D*... 75 . . . . Pignon *d* 10 . . . . $7\frac{1}{2}$

3136

224 moitié de 448.

3360 tours pour un de la roue *A*.

1419.

1419. Le pignon *d* & la roue *E* qu'il porte fait donc 3360 tours, pendant que la premiere *A* en fait un, ce qu'il eſt aiſé de voir : car la roue *B* fait ſept tours pour un de la roue *A*; or le pignon *b* fait huit tours pour un de la roue *B*; ce pignon *b*, ainſi que la roue *C* qu'il porte, fait donc 56 tours pendant que la roue *A* en fait un, puiſque ſept tours de la roue *B*, multipliés par 8 du pignon *b*, font 56; pareillement le pignon *C* fait 8 tours pour un du pignon *b* & de la roue *C*; ainſi multipliant les 56 tours de la roue *C* par les 8 tours du pignon *c*, cela donne 448 tours du pignon *c* & de la roue *D* pendant un de la roue *A*; enfin, à chaque tour de la roue *D*, le pignon *d* fait 7 tours & demi; il faut multiplier 448 tours de la roue *D* par les $7\frac{1}{2}$ qu'elle fait faire, & on aura 3360 tours du pignon *d* (& de la roue *E* qu'il porte) pour un de la premiere.

1420. Si on veut ſavoir le temps que reſtera la premiere roue à faire un tour, on voit que cela dépend de celui que reſtera la roue *E* à faire une révolution; car la roue *A* ſera toujours 3360 fois plus de temps à faire un tour que la roue *E*, puiſque cette derniere fait 3360 fois plus de tours; ſi donc on ſuppoſe que la roue *E* fait un tour par minute, la roue *A* en fera un en 3360 minutes : pour ſavoir combien cela fait d'heures, il faut diviſer ce nombre par 60 (nombre de minutes pendant une heure); la diviſion faite, on trouve 56 heures; c'eſt donc deux jours & huit heures qu'elle reſte à faire une révolution.

1421. Pour trouver combien le poids *P* tranſmettra de force à la circonférence de la roue *E* : je ſuppoſe qu'il peſe 12 livres, & que le diametre du cylindre *F* eſt à celui de la roue *A*, comme 8 eſt à 12, ou 2 à 3; dans cette ſuppoſition le poids agira à la circonférence de la roue *A* avec huit livres qui font 128 onces = 1024 gros ou 73728 grains; on fera donc la proportion : La force qui s'exerce à la circonférence de la roue *A* eſt à la force qu'elle communique à la circonférence de la roue *E* (j'appelle *x* cette force) ſuppoſée de même diametre, comme le nombre de révolutions de la roue *E* eſt au nombre de

révolutions de la roue *A*, ou 73728 : *x* :: 3360 : 1 ; multipliant les extrêmes, & diviſant par le terme moyen connu, on a la valeur de *x*, qu'on trouve de 21 grains $\frac{1168}{3360}$; & la fraction $\frac{1168}{3360}$ étant réduite, on a 21 grains $\frac{33}{35}$; c'eſt donc la force qui ſeroit tranſmiſe à la roue *E*, ſi elle étoit de même diametre que la roue *A* ; mais en la ſuppoſant trois fois plus petite, le poids *p* qui y eſt appliqué parcourt alors trois fois moins d'eſpace : ainſi, pour qu'il faſſe équilibre avec le même poids *P*, il faut qu'il ſoit triple de ce qu'on a trouvé dans le calcul précédent ; il doit donc être de grains 65 $\frac{29}{35}$.

REMARQUES.

1422. Il ne ſuffit pas d'avoir calculé la force tranſmiſe par le moteur à la derniere roue d'un rouage, il faut encore faire abſtraction des frottements, & de la réſiſtance cauſée par l'inertie des roues : cette derniere conſidération eſt très-eſſentielle ; car à chaque battement du pendule les roues ont un inſtant de repos, enſorte qu'il faut que la force qui les met en mouvement ſe renouvelle à chaque vibration, & qu'elle tire les roues du repos. Les frottements cauſés par le poids des roues, & cette inertie exigent donc une ſurabondance de force au-delà de la quantité que nous avonscalculée.

1423. Ces deux quantités, la force qu'il faut pour vaincre la réſiſtance cauſée par l'inertie, & la force pour vaincre les frottements, augmentent d'autant plus que les roues ſont peſantes, & qu'elles ont plus de vîteſſe. Il eſt donc très-eſſentiel de réduire les roues à leur moindre peſanteur : pour cet effet, il faut les tenir très-petites ; ce qui eſt ſur-tout poſſible dans les dernieres roues qui n'ont que peu d'effort à vaincre ; & comme les pignons nombrés exigent que les roues qui les menent ſoient d'un plus grand diametre, il vaut mieux n'employer dans les dernieres roues que des pignons de ſix (par rapport aux engrenages, en formant de bonnes courbures aux dents, ils ſeront auſſi parfaits que ſi les pignons étoient nombrés) : ainſi les roues ſeront réduites à leur moindre grandeur, & par conſéquent à la plus

petite peſanteur : la force motrice deviendra donc plus conſtante, & ſera réduite à la plus petite quantité : ſi l'on veut tenir les roues plus grandes, il faut les nombrer le plus qu'il eſt poſſible, ſans avoir cependant des dents trop foibles ; & ne les faiſant engrener que dans des pignons peu nombrés, on rallentira leurs révolutions. Nous traiterons cet objet des roues plus au long ci-après.

CHAPITRE IV.

Des Engrenages des Roues & Pignons : des conditions requiſes pour faire de bons Engrenages.

1424. LA PERFECTION des engrenages eſt une partie ſi eſſentielle dans les machines, & ſur-tout dans celles qui meſurent le temps, comme les Montres & Pendules, qu'on ne peut trop y apporter de ſoin & d'attention ; j'ai donc cru néceſſaire de préſenter ici les effets qui réſultent dans les Montres, des engrenages mal faits ; de donner enſuite les principes ſur leſquels la théorie de l'engrenage eſt appuiée ; enfin d'enſeigner les moyens pratiques de faire de bons engrenages.

Examen des effets qui réſultent des mauvais Engrenages.

1425. Lorſque les courbes des dents ſont mal faites, la roue mene le pignon avec différents degrés de force, d'où il arrive ; 1°, (ſi cette roue communique ſa force à un balancier) que le balancier perd ſon iſochroniſme, ou, ce qui eſt le même, qu'il *vibre* avec différents degrés de vîteſſe, & que la durée de la vibration change ſelon les actions différentes de la roue ſur le pignon ; 2°, que la force du moteur, pour faire tourner le pignon,

doit être plus grande qu'il ne ſeroit néceſſaire, ſi la roue faiſoit tourner le pignon d'une maniere uniforme : ainſi cet excédent de force motrice tend ſeul (indépendamment des autres variations) à détruire la machine par les frottements qu'elle cauſe ; & ceux-ci produiſent à la longue des variations au régulateur.

1426. Si une roue mene un pignon trop gros, ou, ce qui eſt le même, dont les dents ou ailes ſont plus diſtantes entr'elles que ne le ſont celles de la roue, la force communiquée par la roue, ſera en partie détruite par les dents du pignon qui arcbouteront contre celles de la roue : cette force ainſi détruite, exigera qu'on emploie une plus grande force motrice, pour entretenir le mouvement de la machine ; il en réſultera des frottements, de l'uſure, des variations, &c.

1427. Si une roue mene un pignon trop petit, ou dont les dents ſont moins diſtantes entr'elles que ne le ſont celles de la roue, il arrivera que la dent de la roue agiſſant ſur un levier, ou dent trop courte, le pignon tournera avec une moindre force & plus de vîteſſe, comme on le verra dans le Chapitre ſuivant : il ſuivra encore de-là qu'une partie de la force de la roue ſe perdra par la chûte qu'il y aura du paſſage de la dent qui mene à celui de la ſuivante qui doit mener. Le pignon ne tournera donc qu'avec une partie de la force de la roue : ainſi le moteur devra avoir une plus grande puiſſance qu'il ne ſeroit beſoin ſi la roue menoit le pignon uniformément ; cette force excédente, & les inégalités de l'engrenage tendront à détruire la machine, à la faire varier, &c.

1428. Enfin un rouage étant compoſé de roues & de pignons dont les engrenages ſont mauvais, dans certains moments chaque roue agira ſur ſon pignon avec le plus grand avantage ; ainſi la force tranſmiſe au régulateur ſera la plus grande poſſible : & dans d'autres inſtants, chaque roue agiſſant ſur le pignon avec le moindre avantage, la force du moteur en ſera comme anéantie ; le régulateur ne recevra que des

impulſions extrêmement petites, or la force du moteur doit être ſuffiſante pour le cas le moins favorable des engrenages; elle eſt donc trop grande dans le cas le plus favorable, d'où réſultent les inconvénients que nous avons déjà remarqués.

1429. Voilà en gros ce qui réſulte des mauvais engrenages; nous allons voir dans le Chapitre ſuivant comment les roues doivent agir ſur les pignons, & déterminer la forme des dents des roues, pour qu'elles menent le pignon uniformément, de maniere qu'elles lui communiquent également toute la puiſſance du moteur.

CHAPITRE V.

Démonſtration de l'engrenage; des Courbes des Dents des Roues & Pignons; de la maniere de tracer ces Courbes.

PLANCHE XX, figure 5.

1430. SI L'ON ſuppoſe que deux leviers angulaires *b A D* (*) *b a C* mobiles ſur deux appuis fixes *A*, *a*, ayent chacun un bras conſtant *A D*, *a C* dirigé dans la droite *A a*, qui joint les points d'appui, & chargés à leur extrémité d'un poids conſtant *P*, *p*, & chacun un bras variable *A b*, *a b*, de ſorte que leurs extrémités agiſſent toujours réciproquement l'une

(*) Je ne conſidere maintenant que les ſimples leviers *b A D*, *b a C*, pour ne pas compliquer cette matiere: lorſque j'aurai fait voir comment ils doivent ſe mener uniformément, ſoit que le grand levier mene le petit après la ligne des centres, ou que le petit mene le grand après la ligne des centres, ou enfin, ſoit que le grand ou le petit levier menent avant & après la ligne des centres; tout cela, dis-je, bien établi pour de ſimples leviers, s'appliquera facilement aux roues & aux pignons qui ne ſont dans le fond que des aſſemblages de leviers.

ſur l'autre ; je dis que les deux poids P, p qui ſont équilibre dans le cas où les deux bras variables ont leur point de contact en O, ſitué dans la ligne droite AO, aO, le feront auſſi tant que le point b où ils s'arcboutent, ſe trouvera dans la circonférence d'un cercle dont AO ou aO ſera le diametre.

DEMONSTRATION. Que bn perpendiculaire ſur bA (& qui repréſente le petit arc que le levier bA tend à parcourir en un inſtant, en tournant ſur A) exprime la force abſolue qui s'exerce à l'extrémité b du levier angulaire bAD par l'action du poids P ; ſi l'on ſuppoſe cet effort bn décompoſé en deux autres bm, bi, dont l'un, ſavoir bm, ſoit perpendiculaire à ac, & dont la direction paſſe par le point de contact s (puiſque l'angle b qui a ſon ſommet à la circonférence abs eſt droit) ; & l'autre bi ſoit dirigé ſuivant bA : on voit que bm exprime la partie de l'effort bn qui eſt employée à pouſſer le point b du levier ac de b vers o, & par conſéquent à faire tourner le levier ac, tandis que bi exprime la partie de l'effort bn qui tend à pouſſer le point b vers A, & qui eſt détruite par la réſiſtance du point fixe A : or je dis que bn exprime auſſi la force abſolue qui s'exerce à l'extrémité b du levier angulaire Cab pour s'oppoſer à la rotation du point b autour du point a ; car à cauſe des droites DP, bn perpendiculaires aux bras de leviers AD, Ab, le poids P eſt à l'effort bn, comme Ab eſt à AD ; mais en tirant AB perpendiculairement ſur bs prolongée, les triangles ſemblables nbm & AbB donnent $b.n : bm :: AB : Ab$; donc (en multipliant par ordre) $P : bm :: AB : AD$; maintenant nommons x la force abſolue avec laquelle le poids p tend à faire tourner le point b dans le ſens oppoſé à bo, & nous aurons $p : x :: ab : ac$, ou à cauſe des triangles ſemblables abO, ABO, comme AB à AO ; mais dans la ſuppoſition que ces deux poids p & P puiſſent ſe faire équilibre, lorſqu'ils ſe communiquent leurs actions par le point O, on peut, à cauſe des bras de leviers égaux aC, aO, ſuppoſer que le poids p eſt ſuſpendu au point O : donc alors $P : p :: AO : AD$;

donc en multipliant par ordre $P : x :: AB : AD$; or, on vient de prouver que $P : mb :: AB : AD$: donc $bm = x$: donc il y aura équilibre, puiſque la force bm eſt égale à la force avec laquelle le point b eſt ſollicité à tourner par le poids P; on démontrera de même qu'il y aura équilibre, lorſque les leviers Ab, ab ſe communiqueront leurs forces par tout autre point u de la circonférence $abuO$.

COROLLAIRE I.

1431. Si par les points O, (*fig.* 5 & 6) des centres Aa de mouvement, on décrit les cercles R, X, & qu'on ſuppoſe qu'un de ces cercles agiſſe ſur l'autre par un engrenage de dents infiniment petites, les poids P, p reſteront en équilibre; & ſi le cercle R, par exemple, va uniformément, le cercle X ſera auſſi mu uniformément: car 1°, les dents étant infiniment petites, les rayons AO, aO, par leſquels ces dents agiſſent, ſeront toujours de même longueur, & l'action des poids p & P ſera toujours appliquée de la même maniere: donc il y aura toujours équilibre. 2°, Si l'un des deux cercles eſt mu d'un mouvement uniforme, il en ſera de même de l'autre: car chaque point d'un cercle s'appliquera ſucceſſivement à tous les points de l'autre, de ſorte que l'eſpace parcouru par un point O ſitué à la circonférence de l'un, ſera égal à celui O ſitué à la circonférence de l'autre: or cet eſpace étant le même, ainſi que le temps du mouvement, la vîteſſe des cercles R, X ſera auſſi la même, d'où ſuit l'uniformité de mouvement.

1434. On appelle *rayons primitifs* les rayons AO, aO des cercles R, X qui expriment le rapport des révolutions des cercles X, R.

COROLLAIRE II.

1432. Le point b (*fig.* 5), par lequel le levier bAD conduit le levier baC, étant toujours ſuppoſé dans la cir-

conférence $a\,b\,O$, les cercles primitifs tendent à tourner avec la même force & la même vîteſſe ; car 1°, ſoient F, f les forces avec leſquelles tendent à tourner dans ce cas la circonférence du cercle R, & celle du cercle X, on aura $b\,n : F :: A\,O : A\,b$ & $f : b\,m :: a\,b : a\,c$ ou $a\,O$; d'ailleurs on a vu ci-deſſus que $b\,m : b\,n :: A\,b : A\,B$; donc $f : F :: A\,O \times a\,b : a\,O \times A\,B$; mais les triangles ſemblables $a\,b\,O$ & $A\,B\,O$ donnent $a\,O : A\,O :: a\,b : A\,B$; donc $a\,O \times A\,B = A\,O \times a\,b$; donc $f = F$; donc le cercle R étant mu d'un mouvement uniforme, le cercle X ſera auſſi mu d'un mouvement uniforme ; 2°, quelle que ſoit la vîteſſe du point b du levier $D\,A\,b$, celle qu'il communiquera au levier $b\,a\,C$, ſuivant la perpendiculaire $b\,m$ au point de contact, doit être la même que celle de ce même point b dans le même ſens : or ſi l'on abaiſſe la perpendiculaire $n\,o$, la vîteſſe ſuivant $b\,n$ étant repréſentée par $b\,n$, la vîteſſe ſuivant $b\,m$ ſera repréſentée par $b\,o$. Soient maintenant V la vîteſſe de la circonférence R de la roue, & u celle de la circonférence X du pignon, il eſt évident que $V : b\,n :: A\,O : A\,b$ & $b\,o : u :: a\,b : a\,c$ ou $a\,O$; d'ailleurs les triangles ſemblables $b\,n\,o$ & $A\,b\,B$ donnent $b\,n : b\,o :: A\,b : A\,B$; donc $V : u :: A\,O \times a\,b : a\,O \times A\,B$; or ces deux derniers produits ſont égaux, comme on l'a déjà vu ; donc $u = V$.

COROLLAIRE III.

1433. SI le point b (*fig.* 6), où agit le levier $D\,A\,b$ ſur le levier $a\,b\,c$, n'eſt pas ſitué dans la circonférence d'un cercle décrit ſur $a\,O$, ou ſur $A\,O$: s'il étoit, par exemple, placé en dedans comme en g, ou en dehors comme en h, les poids P, p ne ſeront plus en équilibre ; pour le prouver, il faut tirer la ligne $n\,h$ perpendiculaire au levier $a\,b\,c$; alors ſuivant ce qui a été dit ci-deſſus, on a

$$\begin{aligned} P &: h\,n :: A\,h : A\,D \\ h\,n &: h\,m :: A\,x : A\,h \\ p &: P :: A\,D : A\,O \\ z &: p :: a\,O : a\,h \end{aligned}$$

En

1434. En nommant z la force avec laquelle le poids p tend à faire tourner le point h dans le ſens oppoſé à xh : on a $z : hm :: Ax \times aO : AO \times ah$; or il eſt facile de démontrer que ſi le point h n'eſt point ſur le cercle abO, le produit $Ax \times aO$ ne peut jamais être égal au produit $AO \times ah$; donc z ne peut jamais (dans la même ſuppoſition) être égal à hm; donc il ne peut y avoir équilibre.

COROLLAIRE IV. *fig. 6.*

1435. Les choſes reſtant les mêmes que dans le corollaire précédent, on démontrera d'une maniere analogue à celle qu'on a employée dans le corollaire ſecond, que les forces avec leſquelles les circonférences primitives tendent à ſe mouvoir, ne peuvent être égales, & qu'ainſi la vîteſſe de l'une étant uniforme, celle de l'autre ne ſauroit l'être; donc le point h par lequel le levier Ah pouſſe le levier ac, ne peut être à une diſtance de A, qui ſoit toujours la même, puiſqu'il y auroit une infinité de cas où ce point ne ſeroit point ſur la circonférence abO; ce qui eſt cependant néceſſaire pour l'uniformité du mouvement; donc la figure qu'on doit donner aux dents de la roue pour conduire uniformément l'aile rectiligne d'un pignon, ne peut être une ligne droite.

COROLLAIRE V. *Planche XXI, fig. 1.*

1436. Enfin ſi le levier prolongé AOb eſt formé par une courbe $b\,s''\,t''\,N$ qui ſoit telle que lorſqu'un point fixe N du cercle R aura décrit un eſpace quelconque ON, le levier ac touche cette courbe en un point b qui ſoit ſur ſa circonférence abO, & tellement placé que l'arc Ob ſoit égal à l'arc ON; alors ce levier conduira le pignon avec une force & une vîteſſe uniforme; car l'arc Ob étant égal à l'arc Oc, comme il eſt aiſé de s'en convaincre, il ſera auſſi égal à

l'arc *O N*; & par conſéquent ce point *N* & le point *c* auront décrit en même-temps des eſpaces égaux: d'où ſuit naturellement la méthode ſuivante de tracer la figure des dents des roues, lorſqu'elles doivent conduire un pignon dont les ailes ſont des lignes droites.

PROBLEME I.

1437. Un levier *A O* (*fig.* 1) agiſſant ſur le levier *a O*; dans le point *O* de la ligne des centres, & les poids *P*, *p* étant d'équilibre, on veut tracer ſur le bout prolongé du levier *A O* une courbe *O t' r' s' b'* qui ſoit telle; 1°, qu'elle faſſe parcourir au cercle *X* un eſpace égal à celui du cercle primitif *R*; 2°, qu'à tous les points de mouvements les poids *P*, *p* reſtent en équilibre.

SOLUTION.

1438. Par les points *A a* des centres de mouvement des leviers *A o*, *a O*, & de leur point d'attouchement *O*, il faut tracer les cercles primitifs *R* & *X*, diviſer la circonférence du cercle *X*, en partant du point *O*, en un nombre à volonté d'arcs égaux, diviſer de même le cercle *R*, en partant du point *O*, en un nombre d'arcs égaux qui ſoit au nombre de ceux du cercle *X*, comme le rayon *A O* eſt au rayon *a O*; dans cet exemple les rayons étant entr'eux comme 3 eſt à 1, & le cercle *X* étant diviſé en 6 parties égales, on diviſera le cercle *R* en 18: ſi donc ces deux cercles s'entraînent par ce ſimple attouchement, le cercle *X* fera trois tours pendant que celui *R* en fera un; & lorſque le point *O* du cercle primitif *X* aura parcouru un arc de 60 degrés, comme *O c*, le point *O* du cercle primitif *R* aura parcouru l'eſpace *O N* ou l'arc de 20 degrés: ces deux quantités *O c*, *O N* ſont donc égales, & expriment le développement des deux cercles; on diviſera enſuite chaque eſpa-

ce $O\ N$, $O\ c$ en un même nombre de parties égales, comme en 5; ainſi lorſque les deux cercles R, X s'entraînent par le ſimple attouchement, chaque diviſion 1, 2, 3, 4, & 1′, 2′, 3′, 4′ ſe rencontrent en O, diviſion à diviſion. Du centre a l'on tirera les lignes $a\ c$, $a\ 1$, $a\ 2$, $a\ 3$, $a\ 4$, qui marqueront les différentes poſitions du levier $a\ O$, lorſqu'il tourne de O en c; & les points b, r, s, t, O, expriment les longueurs excédentes du levier $A\ O$, lorſque celui-ci agit ſur celui $a\ O$, dans ſes différentes poſitions $a\ 4$, $a\ 3$, $a\ 2$, $a\ 1$; ſi donc on tire par ces points d'interſection b, r, s, t du demi-cercle $a\ O$ des portions de cercle $b'\ b : r'\ r : s'\ s : t'\ t$, &c, ces portions de cercle marqueront les différentes longueurs que doit avoir le levier $A\ O$, pour mener celui $a\ O$ uniformément; enfin on portera ces longueurs $O\ b : O\ r : O\ s : O\ t$, &c, en $5''\ b' : 4''\ r' : 3''\ s' : 2''\ t' : 1''\ u'$, & l'on décrira des portions de cercles $b'\ r'\ s'\ t'$ qui coupent celles $b'\ b : r'\ r : s'\ s : t'\ t$, &c; ſi l'on joint ces interſections par des petites lignes courbes, on aura la courbe $b'\ r'\ s'\ t'\ u'\ O$ qui remplira les conditions demandées: car lorſque le point O du cercle primitif R aura parcouru l'eſpace $O\ N$, la ligne $5''\ b'$ ſe confondra avec celle $O\ b$; ainſi les poids P ſeront d'équilibre, & le cercle primitif X aura parcouru l'eſpace ſemblable $O\ c$; de même, lorſque le point O aura parcouru l'eſpace $O\ x$, la ligne $4''\ r'$ s'appliquera ſur celle $O\ r$, & le levier $a\ O$ ſera parvenu en $a\ r\ 1$, les poids ſeront d'équilibre, & les eſpaces $O\ 1$, $O\ 1'$ des cercles primitifs X, R ſeront ſemblables, & ainſi de ſuite, &c.

1439. On déterminera (*fig.* 2) la courbe $O\ t'\ s'\ r'\ b'$ que doit porter le levier $a\ O$, pour mener uniformément le levier rectiligne $A\ O$, en ſe ſervant de la même méthode, & en appliquant les mêmes raiſonnements, &c, dont on vient de ſe ſervir pour le cas où le grand levier mene le petit: on opérera ſur le grand cercle primitif R, comme on fait ſur le cercle X; on tracera ſur $A\ O$ un demi-cercle $A\ B\ O$; on diviſera le cercle X en 6 parties égales, par exemple, &

le cercle *R* en 18; on diviſera de même les eſpaces *O c*, *O N* en des parties ſemblables 1, 2, 3, 4; 1′, 2′, 3′, 4′, & on tirera, comme dans l'exemple précédent, les rayons *A c*, *A* 1, *A* 2, &c. & on tirera par les points d'interſection avec le demi-cercle *A B O*, les portions de cercles *b b′*: *r r′*: *s s′*: *t t′*: &c, qui ſerviront à former la courbe, en décrivant des points 5″, 4″, 3″, 2″, &c, les portions de cercles *b′ r′ s′ t′ u′* qui coupent celles *b b′*; de maniere que 5″ *b′* ſoit égal à *o b*, 4″ *r′* à *o r*, 3″ *s′* à *o s*, &c, & menant par ces points une ligne, on aura la courbe *b′ r′ s′ t′ O*, & par les mêmes opérations ſa ſemblable *b r″ s″ t″ N*; par ces moyens, dans tous les points de mouvements, les poids *P*, *p* ſeront d'équilibre, & les eſpaces parcourus par les cercles primitifs *X* & *R* ſeront ſemblables.

REMARQUE.

1440. Les mêmes choſes ſubſiſteront, ſoit que la courbe *O u′ t′ s′ r′ b′* (*fig.* 2) mene le levier *A O* de *O* en *B*, ou que le levier *A B* mene la courbe *b r″ s″ t″ N* de *B* en *O*, ou ſoit que (*fig.* 1) la courbe *O u′ t′ s′ r′ b′* mene le levier *a O* de *O* en *c*, ou que le levier *a b c* mene la courbe *b r″ s″ t″ N* de *c* en *O*; mais quoique dans ces différents cas les eſpaces parcourus par les cercles primitifs ſoient égaux, & que les poids *P*, *p* ſoient toujours en équilibre, il ne s'enſuit pas de-là qu'il ſoit indifférent de faire mener ces leviers avant ou après la ligne des centres (*a*); au contraire, il eſt toujours préférable de faire mener *après la ligne des centres*, comme lorſque la courbe *O t′ s′ r′ b′* (*fig.* 1) mene le levier *a O* de

(*a*) On appelle ligne des centres, la droite *a O A*, qui paſſe du centre de la roue au centre du pignon; on dit que la roue mene avant la ligne des centres, lorſqu'une dent *R* (*fig.* 4) qui avance de *R* en *N*, commence à agir ſur l'aile *s* du pignon, avant que ce point *s* ſoit parvenu dans la droite *a O A*. La roue mene après la ligne des centres, après que ce point *s* eſt parvenu dans la droite *a O A*, & que la dent continue de mener l'aile, en tournant de *R* en *N*.

O en *c* : car dans ce cas, ſi la courbe n'eſt pas d'une extrême préciſion, il ne s'enſuivra que des inégalités de force & de mouvement ; au contraire, ſi le levier mene la courbe avant la ligne des centres, il en peut réſulter des arcboutements & des frottements capables d'empêcher les leviers de tourner ; la raiſon en eſt que la force du levier qui mene avant la ligne des centres ſe décompoſe, enſorte qu'une partie tend à mener, & l'autre eſt détruite par le centre du levier, où ſe dirige une partie de la force, & d'autant plus que comme dans la figure 1, le levier *a b c* menera la courbe *b r s t N* dans un point qui ſoit plus diſtant de la ligne des centres de mouvements. La ligne *b B* exprime la direction de la force qui tend à mouvoir ; & celle *b A*, la direction de la force qui eſt détruite par le centre *A*.

PROBLEME II.

1441. Le nombre de dents d'une roue étant donné, ainſi que celui du pignon qu'elle doit mener, tracer les courbes des dents de la roue & du pignon, & déterminer la menée avant & après la ligne des centres ; ſoit (*Planche X X I, fig.* 3), *R N* le cercle primitif de la roue, laquelle aura 18 dents, & *X* celui du pignon qui en aura 6, on diviſera le cercle *R* en 18 parties, en partant de la ligne des centres *a O A*, & le cercle *X* en 6 parties, en partant de cette même ligne ; on ſous-diviſera en pluſieurs parties ſemblables, comme en 5 par exemple, les diviſions *O N*, *O c* de la roue & du pignon ; ces diviſions ſerviront à former, par la méthode que donne le premier Problême, la courbe *N u' t' s' r' d* ; ſuppoſant enſuite que l'aile ou dent du pignon doit être de l'épaiſſeur de *O u*, on diviſera l'arc *N 4* reſtant de la diviſion de la roue, en deux parties *N m*, *n m*, en laiſſant une petite diſtance entre *n* & *u* pour le jeu de l'engrenage ; du point *m* & du centre *A* de la roue, on tirera la ligne *A m d* qui coupera

la courbe *b s t u N* en un point *d*; ainſi la courbe *d r' s' t' u' N* ſera celle des dents de cette roue, & *m d* l'excédent des dents ſur le rayon primitif; enfin *n N* ſera l'arc de menée après la ligne des centres, & *n O* celui qui devra être parcouru avant la ligne des centres.

1442. Maintenant pour conſtruire la roue & le pignon, on tracera de nouveau (*fig.* 4) les rayons primitifs de la roue & du pignon; & ſur la ligne des centres *A a*, on tracera le demi-cercle *O d a* ſur le rayon du pignon; enſuite du centre *A* (*fig.* 3), & du ſommet de la dent *N u' t' s' d' n*, on prendra la diſtance *A d*, qu'on portera (*fig.* 4); du centre *A* on fera paſſer une portion de cercle qui coupera le demi-cercle *a d O* en un point *d*; ce point marquera le ſommet de la dent; ainſi en tirant du centre *a* du cercle primititif *X*, le rayon *a d c*, ce rayon repréſentera le flanc de l'aile du pignon; ainſi en partant de ce point, on diviſera le cercle *X* en 6 parties, par leſquelles on tirera des rayons au centre *a*; on fera l'épaiſſeur des ailes de la quantité *O u* (*fig.* 3), & les flancs du pignon ſeront formés.

1443. Enfin pour former les dents de la roue, on tirera du centre *A* & du point *d* la ligne *A m d*; & partant du point *m*, on diviſera le cercle *R* en 18 parties, & on tirera des lignes comme *A R n*, qui marquent les diſtances des dents; & ſur les côtés de ces lignes, on formera les courbes tracées (*fig.* 3); on aura (*a*) par ce moyen une roue qui fera mouvoir un pignon auſſi uniformément que ſi le cercle *R* entraînoit celui *X* par le ſeul attouchement. Les courbures des ailes du pignon ſe traceront, comme je l'ai dit ci-devant (1439); mais comme dans l'exemple propoſé, elles deviennent très-petites, n'ayant pour longueur que l'inter-

(*a*) Pour former des dents ſemblables à celles *N d n* (*fig.* 3), ſans recommencer les opérations précédentes, on prendra du centre *A* le ſommet *d* de cette dent, & on le portera ſur une ligne quelconque *A d* (*fig.* 9); on décrira du même centre *A* les portions *s's*, *t't*, *u'u*, *Nn* que l'on portera ſur cette ligne *A d*; enfin on prendra les longueurs, *m N*, *o u'*, *p t'*, *r s'*, & on décrira des petites portions de cercles, qui coupent celles *s's*, &c; & menant par les points d'interſection une ligne *N u' t' d s r n*, on aura deux courbes, & par conſéquent une dent ſemblable à celle, *N t' d n*, fig. 3.

valle qui eſt entre le point *r* du cercle primitif *X*, & le point *s* du demi-cercle *A B s O* (*fig.* 4); en prenant cette plus grande longueur *r s* du pignon, & la portant (*fig.* 2), de maniere que du centre *a* on coupe la courbe *N t*, la petite ſection *v* déterminera la longueur *o v* de cette courbe du pignon: ſi la menée commençoit plutôt avant la ligne des centres, on pourroit déterminer la courbe du pignon, en opérant, comme on a fait dans la figure 2, & en appliquant la même méthode dont on s'eſt ſervi pour les dents de la roue; mais on doit éviter, le plus qu'il eſt poſſible, de faire beaucoup mener avant la ligne des centres.

1444. Pour rendre un engrenage le plus parfait qu'il eſt poſſible, & éviter les inégalités des courbes des dents, dans le cas même de la menée après la ligne des centres, il faut faire des pignons d'un plus grand nombre de dents, comme de 8, 10, de 12, &c; par ce moyen on réduit à la moindre quantité les obſtacles qui naiſſent de la menée avant & après la ligne des centres, & les courbures des dents devenant inſenſibles, il en réſulte de moindres inégalités lorſqu'elles ſont mal formées; car l'engrenage des pignons de 6 exige des ſoins pour être bien fait, ſoit pour en déterminer la groſſeur (ce qui varie), ſoit pour former exactement les courbes, & éviter en même-temps les inégalités, les accottements, les frottements, &c.

1445. L'exemple que je viens de donner ſuffit pour faire entendre comment on peut tracer en grand toutes les eſpeces de roues & de pignons poſſibles, & former ainſi des engrenages qui menent uniformément.

1446. On obſervera que la menée avant & après la ligne des centres differe ſelon les nombres de dents des roues & des pignons, & ſelon le rapport des ailes des pignons au nombre des dents de la roue; ainſi il ſeroit à propos que pour chaque nombre différent on fît des figures en grand; de ſorte que par-là on détermineroit pour tous les cas la menée avant & après la ligne des centres, les groſſeurs des pignons, l'excédent des dents de la roue ſur le rayon pri-

mitif; car il faut encore remarquer que les groſſeurs des pignons de 6, par exemple, ou tout autre, différent, ſelon qu'ils font plus ou moins de tours, par rapport à la roue: ainſi un pignon de 6 qui eſt mené par une roue de 60, eſt d'une groſſeur différente de celui du pignon de 6 qui eſt mené par une roue de 30, quand même les roues ſeroient d'une grandeur proportionnée à leurs nombres de dents, & la menée, dans l'un & dans l'autre cas, ne ſe fait pas également avant & après la ligne des centres; ayant ainſi fixé ces différentes choſes, les Ouvriers feroient de bons engrenages.

1447. Il y auroit encore beaucoup à dire ſur cet objet; mais les bornes de mon ouvrage ne me permettent pas de m'arrêter plus long-temps ſur cette matiere que je n'ai fait qu'ébaucher, pour en donner une notion aux Artiſtes, mais que l'on doit voir parfaitement traitée dans l'excellent Ouvrage de M. Camus (*Cours de Mathématique*); nous renvoyons au même Ouvrage ceux qui deſireront s'inſtruire de la nature des engrenages formés par une roue de champ. M. de la Lande a auſſi traité de la figure des dents; ce que l'on peut voir *Traité d'Horlogerie* de M. le Paute. Voyez auſſi *Encyclopédie*, Tome IV, Article *Dent*.

CHAPITRE VI.

Du Calcul des révolutions des Roues.

1448. MON OBJET, en publiant cet Ouvrage, étant ſur-tout de le rendre utile aux amateurs Artiſtes & aux Ouvriers, j'ai cru qu'en faveur des derniers, qui ſont ceux qui en ont le plus de beſoin, qu'il falloit le traiter le plus ſimplement poſſible, en les inſtruiſant: c'eſt en ſuivant ces vues que je place ici les méthodes communes de trouver le

le nombre de révolutions de la derniere roue d'un rouage ; de calculer le nombre des vibrations, de déterminer facilement le nombre de dents qu'il faut mettre ſur les rochets des pendules ou roues d'échappements des montres, &c ; enfin de donner quelques méthodes de trouver le nombre d'un rouage ; j'avoue que ceux qui ſavent calculer, n'ont que faire de lire ce que je donne ici ſur cette matiere ; mais je n'écris pas pour ceux qui ſavent.

1449. Lorſqu'on parle du nombre de vibrations que fait une Pendule ou une Montre, on ſous-entend toujours que c'eſt en une heure ; ainſi lorſqu'on dit qu'une Montre fait 3600 vibrations, on entend que c'eſt par heure.

METHODE pour trouver les Révolutions des Roues ou Rouages quelconques, ſans employer les fractions : Celle de déterminer le nombre de dents que l'on doit mettre aux Roues d'échappement, pour qu'un pendule donné faſſe en une heure le nombre des vibrations qui lui eſt propre.

1450. Si l'on multiplie les nombres de dents d'un rouage quelconque, l'un par l'autre (en quel ordre qu'on voudra) & de même les nombres d'ailes des pignons l'un par l'autre, & qu'on diviſe le produit des roues par celui des pignons, le quotient de cette diviſion marquera le nombre de tours du dernier pignon pour un de la premiere roue : ſoit, par exemple, un rouage dont la premiere roue ait 97 dents, & engrene dans un pignon de 12 ailes ou dents ; que la ſeconde ait 73 dents, & engrene dans un pignon 7 ; la troiſieme 65 dents, engrene pignon 7 ; on trouvera que le dernier pignon fera 782 tours $\frac{449}{1848}$ pour un de la premiere roue.

1451. J'arrange ces nombres en cette ſorte :

1 Roue. . . . 97 dents, engrene. . . . Pignon 12.
2 Roue. . . . 73 . . . . . 7.
3 Roue. . . . 65 . . . . . 7.

Je multiplie la premiere roue. 97
par la ſeconde. 73

291
679

Ce qui donne 7081
que je multiplie par la troiſieme. 65

35405
42486

Le produit des roues eſt donc . . . . 460265.

1452. Je multiplie de même les pignons l'un par l'autre :

Le premier 12 par le ſecond 7
fait 84
qui multiplié par le troiſieme 7
donne . . . . . 588.

1453. On diviſera le produit des roues par celui des pignons.

Produit des roues 460265 { 588 Produit des pignons.
4866 { 782 $\frac{449}{588}$.
1625

Reſte 449.

1454. On aura donc pour quotient le nombre 782 avec la fraction $\frac{449}{588}$; ce nombre exprimera la quantité de tours du troiſieme pignon pour un de la premiere roue ; je prends ici pour ſecond exemple, deux roues 78, 76, qui engrenent

l'une & l'autre dans des pignons de 7 ailes: je les place de même que dans l'autre exemple.

1 Roue 78 dents, engrene 7 Pignon.

2 Roue 76 7

468 — 49 Produit des pignons.

546

5928 Produit des roues.

Diviſant le produit des roues par celui des pignons,

$$\begin{array}{r|l} 5928 & 49 \\ 102 & 120\ \frac{48}{49} \\ \hline \text{Reſte}\quad 48. & \end{array}$$

on aura $120\ \frac{48}{49}$ pour quotient; lequel eſt égal à celui qu'on trouvera par la méthode des fractions.

1455. Si l'une des roues dont on vient de faire le calcul eſt la roue de minutes d'une Pendule; que la ſeconde ſoit celle de champ, & que le ſecond pignon porte le rochet d'échappement, on trouvera le nombre de vibrations qu'il fera battre au pendule en une heure, en multipliant le quotient $120\ \frac{48}{49}$ du pignon par le double du nombre de dents du rochet (puiſque chaque dent du rochet fait faire deux vibrations au pendule (26)); ſuppoſant que le rochet eſt de 33 dents.

On multipliera . . . . . $120\ \frac{48}{49}$

par 66, double de 33 66

720

720

64 $\frac{32}{49}$ (a)

Nombre des vibrations par heure, 7984 $\frac{32}{49}$

(a) Ce nombre 64 & la fraction $\frac{32}{49}$ qui l'accompagne eſt le produit de la fraction $\frac{48}{49}$ multipliée par le multiplicateur 66.

1456. Ainſi l'on trouvera que le pendule battra 7984 $\frac{32}{49}$ vibrations, tandis que la roue de 78 dents fera un tour, & celle de rochet 120 $\frac{48}{49}$.

1457. On voit que ſi l'on a un rouage quelconque donné, on pourra trouver aiſément par cette méthode le nombre des révolutions de chacune des roues & pignons, ainſi que le nombre des vibrations que bat le pendule (ou le balancier, ſi c'eſt une Montre).

1458. Si l'on veut, par exemple, ſavoir le nombre de vibrations que fera battre le rouage ci-deſſus, dont le rochet eſt donné; on peut encore abréger l'opération en multipliant le produit des roues par le double du nombre du rochet; & diviſant ce dernier produit par celui des pignons, le quotient donnera le nombre des vibrations.

EXEMPLE.

1. Roue des minutes . . . . . 78 engrene 7 Pignon.
Roue de champ. 76 7

468 49
546

Produit des roues 5928
Rochet 33 dents, dont le double eſt 66

35568
35568

391248 { 49 Produit des pignons.
482 { 7984 $\frac{32}{49}$
414
228

32

1459. Ayant ainſi trouvé les révolutions des roues, & le nombre des vibrations, lorſque les nombres de la roue d'échappement ſont donnés, il faut voir maintenant comment

on détermine le nombre de dents qu'il faut mettre à une roue d'échappement, lorſque la longueur du pendule & le nombre des autres roues ſont donnés.

1460. Soit, par exemple, une roue de minutes de 73 dents qui engrene dans un pignon 6, la roue de champ de 65 engrene pignon 6, lequel porte le rochet d'échappement; on demande quel nombre de dents il faut mettre ſur ce rochet, pour qu'il entretienne la vibration d'un pendule de 15 pouces, la roue de minutes faiſant un tour par heure; pour cet effet on trouvera par la méthode précédente, le nombre de tours que fera le pignon du rochet pour un de la roue de minute; ce nombre ainſi trouvé, on cherchera dans la table de la longueur des Pendules, placée à la fin du Livre, quel eſt le nombre des vibrations que doit battre par heure un pendule de 15 pouces; on trouve 5600 pour un pendule de 15 pouces 2 lignes (*a*); j'ai fait remarquer au commencement de cet Ouvrage (26) que chaque dent de la roue d'échappement fait faire deux vibrations au pendule; ainſi chaque tour du rochet, lui fait faire deux fois plus de vibrations que ce rochet n'a de dents: or ſi l'on double le nombre de tours de cette roue, & qu'on diviſe les vibrations du pendule en une heure par ce nombre, on aura le nombre des dents du rochet.

APPLICATION.

Roue de minutes . . . . . 73 engrene 6. Pignon.
multipliée par la roue de champ 65 . . . . . 6.

365 — 36 Prod. des pignons.
438

Produit des roues . . . . . 4745 | 36
114 | 131 $\frac{29}{36}$
65

29

(*a*) Je n'ai pas calculé les longueurs des pendules de ligne en ligne; cela m'auroit entraîné trop loin; ainſi lorſqu'on cherchera le nombre des vibrations d'un pendule, on prendra toujours la longueur la plus approchante du pendule donné.

1461. Le rochet fait donc 131 tours $\frac{29}{36}$ pendant que la roue de minutes en fait un. Le double de 131 $\frac{29}{36}$ eſt 263, avec une fraction $\frac{22}{36}$ qu'on peut négliger : il faut donc diviſer 5600 par 263 ; & le quotient 21 ſera le nombre le plus approchant qu'on peut mettre à une roue qui fait 131 tours par heure, pour faire battre 5600 vibrations à un pendule de 15 pouces 2 lignes.

1462. On voit par cette méthode que l'on peut trouver dans l'inſtant le nombre de dents d'un rochet quelconque ; on voit de plus que 21 dents ne font pas battre exactement 5600 vibrations par heure; car 263 $\frac{22}{36}$ multipliés par 21, donne 5535 $\frac{30}{36}$, c'eſt-à-dire, 63 vibrations $\frac{6}{36}$ de moins que le nombre demandé, différence très-petite ſur une heure ; d'ailleurs ſi l'on mettoit une dent de plus au rochet, il feroit faire un plus grand nombre de vibrations que l'on n'a demandé ; 21 eſt donc le plus approchant.

CHAPITRE VII.

USAGE du Calcul des Fractions, pour trouver le temps de la marche des Pendules ou Montres, le nombre de dents que l'on doit mettre aux Roues d'échappement, &c.

1463. QUOIQUE la méthode que j'ai employée dans le Chapitre précédent, pour calculer les révolutions des rouages, ſoit la plus ſimple à bien des égards, il y a cependant des cas particuliers où le calcul par les fractions eſt plus commode. Je donnerai donc dans ce Chapitre la maniere d'en faire uſage dans des cas qui ſont applicables à l'Horlogerie, comme par exemple, pour trouver le temps

de la marche d'une Pendule ou Montre, de calculer les vibrations, trouver les nombres de dents convenables aux roues d'échappements, pour de longueur de Pendule, &c.

1464. 1°, Trouver le temps de la marche d'une Pendule dont le rouage eſt donné, & le nombre de tours que doit faire le poids ou reſſort pour la faire aller un temps quelconque donné.

1465. Il faut, par exemple, trouver le temps que marchera un rouage dont la premiere roue qui porte le poids, ou contient le reſſort, a 90 dents, & qui engrene dans un pignon de 14, ſur l'axe duquel eſt fixé la grande roue moyenne de 84 dents; celle-ci engrene dans un pignon de 8, dont l'axe prolongé doit porter l'aiguille des minutes; ce pignon porte la roue qu'on appelle *roue des minutes*; elle fait par conſéquent un tour par heure.

1466. C'eſt en calculant le nombre de tours de cette roue des minutes pour un de la premiere, que l'on ſaura le temps que cette premiere roue reſte à faire un tour, & par conſéquent le nombre de tours que devra faire un reſſort (ou poids, ce qui eſt le même,) pour faire aller ce rouage pendant 15 jours; c'eſt ce que nous allons trouver de la maniere ſuivante.

EXEMPLE.

1. Roue .. 90, engrene .. Pignon 14 qui fait 6 tours, $\frac{3}{7}$.
2. Roue .. 84, engrene .. Pignon 8 .... 10 tours, $\frac{1}{2}$.

60
4 $\frac{3}{7}$
3 $\frac{3}{14}$.

67 : $\frac{3}{7}$ + $\frac{3}{14}$ d'heures = 67 heures $\frac{1}{2}$.

$\frac{90}{16}$ ($\frac{14}{1}$ = 6 tours $\frac{6}{14}$ = 6 tours $\frac{3}{7}$

$\frac{84}{8}$ ($\frac{8}{1}$ = 10 tours $\frac{4}{8}$ = 10 tours $\frac{1}{2}$.

1467. La roue de minutes fait donc 67 tours $\frac{1}{2}$ pour un de la premiere, c'eſt-à-dire, deux jours 19 heures & 30 minutes que la premiere roue reſte à faire une révolution (*a*);

(*a*) Ceux qui ſavent les fractions, calculeront très-facilement ces révolutions; mais comme il y a des perſonnes qui ignorent comment on opere ſur les fractions,

actuellement pour trouver le nombre de tours de la premiere roue en 15 jours, il ne faut que réduire 15 jours en heures; ce qui donne 360 heures qu'il faut diviſer par $67\frac{1}{2}$, nombre d'heures que la premiere reſte à faire un tour; on trouvera qu'il faut qu'elle faſſe 5 tours $\frac{45}{135}$ pour aller 15 jours, environ 5 fois $\frac{1}{3}$.

je m'arrêterai à leur en donner une idée. Je prends ce premier exemple; c'eſt 90 qu'il faut diviſer par 14. Je place & fais la diviſion à l'ordinaire; je trouve que 90 diviſé par 14 donne 6, & qu'il reſte 6 du dividende 90, que je place deſſus le diviſeur 14, en cette ſorte $\frac{6}{14}$ qu'on exprime par 6 quatorziemes, leſquels il faut réduire, en diviſant le *Numérateur* (on appelle *Dénominateur d'une fraction* le nombre qui indique en combien de parties une choſe eſt diviſée; & *Numérateur*, le nombre qui marque la quantité des parties du dénominateur que l'on prend; ainſi pour écrire un pouce, je puis le faire de cette maniere $\frac{1}{12}$ de pied) 6, & le *Dénominateur* 14 par un nombre qui ſoit diviſeur commun du numérateur & du dénominateur; ce nombre eſt 2; ainſi 6 diviſé par 2, donne 3, & 14 diviſé par 2 donne 7: cette fraction $\frac{6}{14}$ ſe réduit donc à celle-ci $\frac{3}{7}$ qui a la même valeur. Le pignon 14 fait donc 6 tours & 3 ſeptiemes de tours, pendant que la roue 90 en fait un. Je le place, comme on voit. Je diviſe pareillement la deuxieme roue 84 par ſon pignon 8; ce qui fait 10 tours $\frac{1}{2}$ que je place deſſous le nombre trouvé ci-deſſus. Je multiplie d'abord les 6 tours que fait le pignon 8 pour un de la premiere ce qui donne 6; maintenant il reſte à multiplier les fractions. Je multiplie le numérateur 3 de la fraction $\frac{3}{7}$ par 10 nombres de tours du pignon 8 pour un de la deuxieme roue; ce qui fait 30 que je diviſe par le dénominateur 7 de cette fraction; je trouve 4 pour quotient avec un reſte qui eſt $\frac{2}{7}$; je place ce quotient ſous le nombre 60 déjà trouvé. Je multiplie pareillement 6 nombre des tours du pignon 14 pour un de la premiere roue par le numérateur 1 de la fraction $\frac{1}{2}$; ce qui fait 6 que je diviſe par 2, dénominateur de cette fraction dont le quotient eſt 3; que je place deſſous l'autre quotient 4: j'additionne ces quantités, & je trouve $67\frac{3}{7}$, qui eſt le nombre de tours que fait la troiſieme roue ou pignon 8 pour un de la premiere: s'il s'agiſſoit d'un calcul qui exigeât une plus grande préciſion, il faudroit encore multiplier la fraction $\frac{3}{7}$ par l'autre $\frac{1}{2}$; ce qui ſe fait en multipliant le numérateur 3 par le numérateur 1; ce qui fait 3 qui ſera le numérateur de la nouvelle fraction cherchée; il faut auſſi multiplier le dénominateur 7 par le dénominateur 2: ce qui fait 14, qui ſera le dénominateur de cette fraction; ainſi $\frac{3}{7}$ multipliée par $\frac{1}{2}$ donne pour valeur la fraction $\frac{3}{14}$: la troiſieme roue ou pignon 8 fait donc $67\frac{3}{7}$, plus $\frac{3}{14}$ pour un de la premiere; enfin on peut encore réduire ces deux fractions à la même valeur: Pour cet effet, je multiplie le numérateur 2 ($\frac{3}{7} + \frac{3}{14} = \frac{28}{98} + \frac{21}{98} = \frac{49}{98} = \frac{1}{2}$) de la premiere fraction par 14, dénominateur de la ſeconde; ce qui donne 28, lequel ſera le numérateur d'une nouvelle fraction; je multiplie enſuite le dénominateur 7 de la premiere par le dénominateur 14 de la ſeconde; ce qui donne 98, qui devient le dénominateur de la nouvelle fraction $\frac{28}{98}$ dont la valeur eſt la même que celle $\frac{3}{7}$, puiſque le numérateur & le dénominateur ſont multipliés par la même quantité 14; je multiplie enſuite le numérateur 3 de la ſeconde fraction par le dénominateur 7 de la premiere; ce qui donne 21, qui ſera le numérateur de la ſeconde fraction réduite; je multiplie de même le dénominateur 14 par 7 dénominateur de la premiere; & je trouve 98 qui eſt le dénominateur de la ſeconde fraction $\frac{21}{98}$, laquelle a même valeur que la ſeconde $\frac{3}{14}$, étant multipliée par la même quantité 7: voilà donc ces deux

1468. Voilà donc le temps que marchera ce rouage ſans être remonté; il faut à préſent trouver le nombre de tours de la roue d'échappement, pendant un tour de la roue des minutes.

1469. La roue des minutes a 78 dents, elle engrene dans un pignon de 7; ce pignon porte la 4e roue, qu'on appelle *roue de champ*; celle-ci a 76 dents, elle engrene dans un pignon 7, qui porte la 5e roue, qui eſt celle d'échappement, dont il s'agit de trouver le nombre de tours en une heure; après quoi on trouvera le nombre de dents qu'il faudra mettre ſur cette roue, pour faire battre à un pendule donné le nombre de vibrations qui lui eſt propre.

Roue 3e: 78 dents.. engrene pignon .:. 7: qui fait . : . : 11 tours $\frac{1}{7}$
Roue 4e: 76 . . . . . 7: . . . , ... 10 . . . $\frac{6}{7}$

$\frac{78}{7}$ ($\frac{7}{1}$ = 11 tours $\frac{1}{7}$ — 110, 1, $\frac{1}{7}$

$\frac{76}{6}$ ($\frac{1}{1}$ = 10 tours $\frac{6}{7}$ — 9 :, $\frac{6}{49}$

120 — $\frac{6}{7}+\frac{6}{49}$

1470. Le rochet fait donc 120 tours $\frac{6}{7}$ plus $\frac{6}{49}$ par heure, ce qu'on peut eſtimer ſans erreur à 121 tours.

1471. 2°, Trouver le nombre de dents qu'il faut mettre à une roue d'échappement, pour qu'un pendule donné faſſe la quantité de vibrations qui lui eſt propre. Maintenant, ſi on veut que ce rochet faſſe mouvoir un pendule de 12 pouces, par exemple, il faut chercher dans la table des longueurs des Pendules, placée à la fin du livre, quel eſt le nombre de vibrations que fait un pendule de 12 pouces en une heure, on trouvera 6300: or on a vu que chaque dent de la roue d'échap-

fractions $\frac{3}{7}$ & $\frac{1}{14}$ changées en celles-ci $\frac{28}{98}$ & $\frac{7}{98}$, qui ont la même valeur que les premieres, & ont de plus un dénominateur commun; il ne faut plus que faire l'addition des deux numérateurs, & on aura $\frac{49}{98}$ égale $\frac{1}{2}$, dont le dénominateur eſt 98; ainſi la valeur des deux fractions $\frac{28}{98}$ & $\frac{21}{98}$ eſt $\frac{49}{98}$, qui eſt égale à $\frac{1}{2}$, plus $\frac{1}{14}$: voilà en gros les opérations que l'on emploie communément dans le calcul des fractions; opérations qui ſont néceſſaires pour différents calculs de rouages & autres; je ne me ſuis arrêté qu'à ce qui étoit relatif à mon Ouvrage; mais cet exemple pourra ſuffire pour donner une idée des fractions; ainſi on pourra appliquer ces méthodes à tous autres exemples & ſujets, quelle que ſoit la nature des fractions; ce qui ne change point la maniere d'opérer.

pement fait faire deux vibrations au pendule; ainſi chaque tour du rochet ou roue d'échappement fait faire le double de vibrations du nombre de dents qu'elle a. Si donc on double le nombre des tours de cette roue, & qu'on diviſe 6300 par ce nombre, on aura celui des dents de la roue d'échappement. On a trouvé que le rochet fait 121 tours par heure; le double de ce nombre eſt 242; je diviſe donc 6300 par 242; 6300 $\left(\frac{242}{26}\right.$: 1460 / 8

on trouvera pour quotient 26 (*). Ainſi 26 eſt le nombre de dents le plus approchant qu'il faut mettre à une roue d'échappement, qui fait 121 tours par heure, pour qu'elle faſſe battre au Pendule 6300 vibrations par heure; & pour s'aſſurer que l'on a bien opéré, il ne faut que multiplier 121 par le double de 26 dents du rochet:

121
52
242
605
6292

on trouve que cela donne 6292, qui eſt le nombre de vibrations que peut faire battre un tel rouage, pour qu'il ſoit le plus approchant de 6300; ces 8 vibrations de différence ſe corrigent en réglant l'Horloge, dont le pendule devient ſeulement un peu plus court.

Trouver le temps de la marche d'une Montre, & le nombre des vibrations qu'elle fait par heure.

1472. C'EST par des méthodes ſemblables à celles dont

(*) On trouve 26 avec un reſte $\frac{8}{242}$, qu'il faut négliger; car on ne peut pas faire une roue qui ait des fractions de dents: s'il étoit reſté de la diviſion un nombre qui ne fût qu'un peu moindre que le diviſeur, il faudroit augmenter le quotient d'une unité; par exemple, ſi au lieu de 8 reſtant de la diviſion, on avoit 230, ce qui feroit $\frac{230}{242}$, qui ne diffère de l'unité que de $\frac{12}{242}$, on prendroit pour quotient 27 au lieu de 26; il faut donc prendre l'unité qui approche le plus près de la valeur de la fraction.

je viens de me ſervir, que l'on trouvera le temps de la marche d'une montre ou de toute autre machine. Je ferai donc ſimplement l'application de ces méthodes, pour trouver le temps de la marche d'une montre, ainſi que le nombre de ſes vibrations. Soit (*Planche VI, fig.* 2) le rouage d'une montre, on veut ſavoir combien il faut que la premiere roue faſſe de tours pour que la montre marche 30 heures, & quel eſt le nombre de vibrations qu'elle bat par heure.

1473. La roue *B*, qui eſt celle de fuſée, a 54 dents; elle engrene dans un pignon *a* de 12, qui porte la grande roue moyenne; cette roue fait un tour par heure; ſon pignon porte la tige prolongée, ſur laquelle s'ajuſte l'aiguille des minutes: cette roue fait donc 4 tours & demi pour un de la roue de fuſée: ainſi diviſant par $4\frac{1}{2}$ le nombre 30, (qui eſt le temps qu'on veut que la montre aille ſans monter); on aura le nombre des tours de la roue de fuſée en 30 heures; on trouvera qu'il faudra qu'elle faſſe ſix tours deux tiers. La grande roue moyenne *C* a 60 dents, elle engrene dans le pignon *b* de 6 dents, lequel porte la petite roue moyenne *D*, qui a 48 dents; celle-ci engrene dans le pignon *c* de 6, qui porte la roue de champ *E*; celle-ci a 42 dents, & engrene dans le pignon 7 de la roue de rencontre *R*, laquelle a 15 dents.

Roue *C*.... 60 engrene pignon 6, fait... 10 tours.
Roue *D*.... 48 ..... 6 8
80
Roue *E*.... 42 ..... 7 6
480
Roue *R*.... 15 dents dont le double eſt 30
14400

Ainſi cette montre fait battre au balancier 14400 vibrations par heure.

Des nombres de dents qu'on peut mettre aux rouages des Montres à huit jours, qui battent 3600 vibrations par heure.

1474. Soit encore un rouage de montre, dont on veut trouver le temps & le nombre des vibrations, je ſuppoſe la premiere roue que je nomme *A*, ou de fuſée, ait 60 dents, & engrene dans un pignon de 12, qui porte la grande roue moyenne *B* qui ait 60 dents, laquelle engrene dans un pignon de 10, dont l'axe prolongé porte l'aiguille des minutes : ce pignon porte la roue *C*, que j'appelle auſſi *roue des minutes.*

1e Roue *A*, 60 engrene pignon 12, qui fait 5 tours
2e Roue *B*, 60 : 10 6
30 tours.

Ainſi la roue des minutes *C* fait 30 tours pour un de la roue *A* : or comme cette roue de minute *C* fait un tour par heure, il ſuit que la premiere, ou roue de fuſée *A*, fait un tour en 30 heures ; ſi donc on veut qu'une telle montre puiſſe marcher huit jours, ſans avoir beſoin d'être remontée, il faut pour cet effet chercher quel nombre de tours doit faire faire le reſſort à la fuſée en huit jours ; on réduira pour cela ces huit jours en heures, ce qui fait 192 heures que je diviſe par 30 nombre de tours de la roue *C* des minutes, pour un de celle de fuſée :

$$\begin{array}{r} 24 \\ 8 \\ \hline 192 \\ 12 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 30 \\ \hline 6\frac{12}{30} = 6\frac{4}{10} \end{array} \right.$$

Cela donne ſix tours & quatre dixiemes, c'eſt-à-dire, environ 6 tours un tiers : une Montre qui aura les roues marquées ci-deſſus, & dont le reſſort fera 6 tours $\frac{4}{10}$, marchera donc huit jours ſans remonter.

1475. Paſſons maintenant au nombre de vibrations de ce mouvement de montre : la roue de minute *C* a 60 dents ; elle engrene dans un pignon de 8, qui porte la petite roue moyenne *D* ; celle-ci a 64 dents, elle engrene dans un pignon 8, qui porte la roue *E* d'échappement.

Roue *C*, 60 dents, engrene pignon 8, qui fait 7 tours $\frac{1}{2}$
Roue *D*, 64 . . . . . 8, . . . 8

56
4

60 tours.

1476. Le pignon qui porte la roue *E*, fait donc 60 tours pour un de la roue des minutes *C* : or celle-ci fait un tour par heure ; par conſéquent la roue *E* fait un tour par minute, elle peut donc ſervir à marquer les ſecondes. Il reſte à fixer le nombre de dents de la roue *E* : pour cet effet je ſuppoſe, par exemple, que cette montre doit battre 7200 vibrations par heure ; il faut chercher le nombre de la roue qui peut convenir. Je me ſers de la même méthode que j'ai employée pour trouver le nombre de la roue d'échappement de pendule, c'eſt de doubler le nombre de tours que fait la roue *E* par heure (c'eſt 60 dont le double eſt 120) : il faut diviſer 7200 par ce nombre-ci..... 7200 ($\frac{120}{60}$, & on aura le nombre de dents de la roue *E*, que je trouve être de 60 ; ainſi en faiſant la roue *E* de 60 dents, cette montre battra 7200 vibrations par heure ou deux vibrations par ſecondes, puiſqu'il y a 3600 ſecondes en une heure, & que 7200 eſt double de 3600. Enfin, ſi au lieu de mettre 60 dents ſur cette roue, on n'en mettoit que 30, elle feroit pour lors des vibrations, dont la durée ſeroit d'une ſeconde de temps ; car le double de 30 (c'eſt-à-dire 60) étant multiplié par 60 nombre de tours de la roue *E* par heure, donne 3600 nombre de ſecondes par heure. Je me ſuis arrêté long-temps ſur ces objets, mais on ſe ſouviendra que je n'écris pas pour ceux qui ſavent.

CHAPITRE VIII.

MÉTHODE pour trouver le nombre de dents qu'il faut mettre aux roues d'un Rouage donné.

1477. POUR faire commodément le calcul des révolutions des différentes parties d'un rouage, on peut partager ces parties par assemblages de deux pieces engrenés, dont l'une est celle qui mene, & l'autre est celle qui est menée; alors le mouvement d'une piece menée est représenté par la valeur d'une fraction, dont le nombre des dents de la piece qui mene est le numérateur, & celui de la piece menée est le dénominateur: & le mouvement de la derniere piece menée par la combinaison de tant d'assemblages qu'on voudra, est exprimé par la valeur du produit de la multiplication de chacune des fractions qui représentent ces assemblages.

1478. Par exemple, une roue de 84 dents menant un pignon de 12, forme un assemblage que l'on doit exprimer par la fraction $\frac{84}{12}$, dont la valeur exprime le mouvement de la piece menée qui est ici le pignon, c'est-à-dire, que cette valeur exprime le nombre de tours que fait le pignon, tandis que la roue en fait un. Or la valeur d'une fraction, c'est le quotient du numérateur divisé par le dénominateur; & le quotient de 84 divisé par 12 est 7; donc le pignon fait 7 tours, tandis que la roue en fait un.

1479. Les Arithméticiens expriment la valeur d'une fraction par une autre fraction, qu'ils appellent *réduite aux termes les plus simples;* savoir, en divisant sans reste, quand cela est possible, le numérateur & le dénominateur chacun par un même plus grand nombre possible; car c'est une propriété des fractions que la valeur de la quantité qu'une fraction

repréſente, ne change pas par quelques nombres qu'on multiplie, ou qu'on diviſe le numérateur, puis le dénominateur : ainſi multipliant 84 & 12 par un nombre à volonté comme 5, on a $\frac{420}{60}$, qui eſt une fraction de même valeur que $\frac{84}{12}$; diviſant 84 & 12 par un nombre quelconque, comme 6, on a $\frac{14}{2}$, fraction de même valeur que $\frac{84}{12}$: or dans une diviſion, le quotient eſt d'autant plus petit que le diviſeur eſt plus grand; donc pour qu'une fraction ſoit réduite aux termes les plus ſimples, il faut que ſes deux termes ſoient diviſés, ou par le dénominateur ou par le nombre le plus approchant du dénominateur. Dans cet exemple, diviſant 84 & 12 par le dénominateur 12, on a pour quotients 7 & 1, avec leſquels on peut faire la fraction $\frac{7}{1}$, qui eſt réduite aux termes les plus ſimples.

1480. Lorſqu'une fraction réduite aux termes les plus ſimples a 1 pour dénominateur, ſa valeur eſt exprimée par le numérateur : ainſi la valeur de la fraction $\frac{84}{12}$ ou de $\frac{7}{1}$ eſt 7. C'eſt pour cela qu'on a dit que la valeur d'une fraction qui repréſente un aſſemblage de deux pieces engrenées, exprime le mouvement de la piece menée.

1481. Selon les mêmes principes, ſi l'axe du pignon dont on vient de parler, porte une roue *B* de 80 dents, engrenée dans un autre pignon de 10 dents, ce ſecond aſſemblage ſera repréſenté par la fraction $\frac{80}{10}$, qui réduite aux termes les plus ſimples, eſt $\frac{8}{1}$, & exprime le mouvement du ſecond pignon, lequel fait par conſéquent 8 tours, tandis que la roue *B* en fait un. Delà on voit que ce pignon fait 7 fois 8 tours, tandis que la roue *A* en fait un. Or 7 fois 8 eſt la même choſe que $\frac{7}{1}$ multiplié par $\frac{8}{1}$; & $\frac{7}{1}$, $\frac{8}{1}$ ſont de même valeur que $\frac{84}{12}$ & $\frac{80}{10}$; donc $\frac{84}{12}$ multiplié par $\frac{80}{10}$, exprime le mouvement du ſecond pignon; & ainſi en général on conclura que le produit de chacune des fractions, qui repréſente autant d'aſſemblages de deux pieces engrenées, exprime le mouvement de la derniere piece menée, de ſorte que pour avoir le nombre de tours que cette derniere piece fait, tandis que la premiere piece qui mene en fait un, il faut diviſer le produit des numérateurs de ces fractions par le produit des dé-

nominateurs : ſi par exemple on multiplie $\frac{84}{12}$ par $\frac{80}{10}$, on aura $\frac{6720}{120}$, & diviſant 6720 par 120, on a comme ci-deſſus 56, pour le nombre de tours du ſecond pignon.

1482. De même pour exprimer le mouvement du rouage de la Pendule à ſecondes, (*Planche XX, fig.* 4) où les roues *A* de 84, *B* de 80, *C* de 80, *D* de 75, menent les pignons *a* de 12, *b* de 10, *c* de 10, *d* de 10; on a $\frac{84}{12} \times \frac{80}{10} \times \frac{80}{10} \times \frac{75}{10} = \frac{40320000}{12000}$, qui ſe réduit par la diviſion du dénominateur par le numérateur à 3360, ou bien en réduiſant chaque fraction aux termes les plus ſimples, on a $\frac{7}{1} \times \frac{8}{1} \times \frac{8}{1} \times \frac{75}{1} = 3360$.

1483. Il ſuit enfin des mêmes principes, que puiſque $\frac{84}{12} \times \frac{80}{10} \times \frac{80}{10} \times \frac{75}{10} = \frac{84 \times 80 \times 80 \times 75}{12 \times 10 \times 10 \times 10}$, & qu'en quelque ordre qu'on arrange les nombres qui ſont dans le numérateur de cette derniere expreſſion, & ceux qui ſont dans le dénominateur, on a toujours le même produit; il ſuit, dis-je, que de quelque façon qu'on combine des roues & des pignons, dont le nombre de dents eſt déterminé, on ne peut produire que le même mouvement; c'eſt-à-dire, que la derniere piece menée fera toujours le même nombre de tours pour un de la premiere qui mene, bien entendu que dans cette combinaiſon on ne fera pas mener des roues par des roues, ou des pignons par des pignons.

REGLE générale pour trouver le nombre des dents des Roues & des Pignons qui doivent produire un nombre de tours donné.

PREMIERE PARTIE.

1484. SOIT propoſé, par exemple, de faire faire 3600 tours à la derniere roue d'un rouage tandis que la premiere en fait un. 1°, Diviſez le nombre donné 3600 par 2, puis le quotient encore par 2, le ſecond quotient encore par 2, & toujours

toujours ainſi de ſuite, juſqu'à ce qu'on trouve un quotient qui ne ſoit plus diviſible par 2 ſans reſte. Alors diviſez ce quotient par 3, & le quotient de ce quotient par 3, & ainſi de ſuite, juſqu'a ce qu'on en trouve un qui ne puiſſe plus être diviſé par 3 : alors diviſez ce dernier quotient par 5; & ſi cela ſe peut ſans reſte, diviſez encore le nouveau quotient par 5, & ainſi de ſuite, juſqu'a ce que vous trouviez un quotient qui ne ſoit plus diviſible ſans reſte par 5 : diviſez ce dernier quotient par 7, & s'il ſe trouve un nouveau quotient ſans reſte, diviſez-le encore par 7, &c, juſqu'à ce que le dernier quotient ſoit 1.

1485. Cette regle s'exprime ainſi en ce peu de mots, que les Mathématiciens entendront facilement: Prenez tous les nombres premiers qui ſont les diviſeurs exacts du nombre donné.

1486. Dans cet exemple, je diviſe 3600 par 2 ; j'ai pour quotient 1800 que je diviſe par 2 ; j'ai 900 que je diviſe par 2 ; j'ai 450 que je diviſe par 2, & j'ai 225 ; ce dernier quotient n'étant pas pair n'eſt plus diviſible par 2 ; je le diviſe donc par 3, & j'ai 75 que je diviſe par 3, & j'ai 25 ; or 25 ne peut plus être diviſé ſans reſte par 3 ; je le diviſe donc par 5, & j'ai 5 que je diviſe par 5, & j'ai pour dernier quotient 1.

1487. II. Ayant écrit à part tous les diviſeurs qui ont été employés dans cette opération, c'eſt ici 2, 2, 2, 2, 3, 3, 5, 5, partagez-les en autant de lots que vous voulez employer de roues, comme 4, par exemple; vous pouvez prendre pour lots 2, 2, 2, puis 2, 3, enſuite 3, 5, enfin 5: ou bien 2, 3; 2, 3; 2, 5; 2, 5 : ou bien 2, 5; 2, 5; 2, 2; 3, 3; &c.

1488. III. Ayant fait les lots, multipliez enſemble les nombres qui les compoſent chacun, & écrivez comme ci-deſſus les produits en autant de fractions, dont le dénominateur ſoit 1 ; ainſi, ſelon la premiere combinaiſon, on aura $\frac{2}{1} \times \frac{2}{1} \times \frac{15}{1} \times \frac{5}{1}$: ſelon la ſeconde, $\frac{4}{1} \times \frac{4}{1} \times \frac{10}{1} \times \frac{10}{1}$: ſelon la troiſieme, $\frac{10}{1} \times \frac{10}{1} \times \frac{4}{1} \times \frac{9}{1}$.

1489. IV. Multipliez chacun des deux termes de chaque fraction par un même nombre à volonté, mais qui doive

exprimer le nombre de dents des pignons ; par exemple, dans la premiere combinaiſon, je multiplie les deux termes de $\frac{8}{1}$ par 10 & j'ai $\frac{80}{10}$: les deux termes de $\frac{6}{1}$ par 12, & j'ai $\frac{72}{12}$; les deux termes de $\frac{15}{1}$ par 7, & j'ai $\frac{105}{7}$; les deux termes de $\frac{5}{1}$ par 9, & j'ai $\frac{45}{9}$.

1490. V. Réuniſſez tous vos produits en une même fraction, ainſi j'ai $\frac{80 \times 72 \times 105 \times 45}{10 \times 12 \times 7 \times 9}$.

1491. VI. Enfin, choiſiſſez dans les nombres du dénominateur (qui expriment les dents des pignons) ceux que vous voudrez ajuſter aux nombres du numérateur (qui expriment les dents des roues) : ainſi je pourrai exécuter le rouage par une roue de 45 qui mene un pignon de 7, par une roue de 72 qui mene un pignon de 9, par une roue de 80 qui mene un pignon de 12, & par une roue de 105 qui mene un pignon de 10, &c.

1492. On voit par-là qu'il y a un très-grand nombre de combinaiſons à choiſir, & que l'on ne doit donner la préférence qu'à celles qui proportionnent la grandeur des nombres aux diamétres des roues, & à l'effort qu'elles ont à vaincre.

1493. Comme la pratique de cette regle n'eſt commode que lorſque le nombre donné eſt ſuſceptible d'un grand nombre de diviſions ſucceſſives, par les nombres 2, 3, 5, 7, 11, & que de plus grands diviſeurs premiers donneroient des roues trop nombrées, & que les nombres qui ſe diviſent ſucceſſivement par des petits diviſeurs ſont très-bornés, il faut rendre cette regle d'un uſage plus étendu.

II. EXEMPLE.

1494. SI ON veut faire faire 205 tours à la derniere roue d'un rouage, pendant que la premiere en fait un, je prends les nombres premiers de 205, & je trouve 5 & 41 dont je fais deux lots pour avoir deux roues ; ainſi j'ai $\frac{5}{1}$ & $\frac{41}{1}$; je veux employer des pignons de 6 ailes, ce qui donne $\frac{30}{6} \times \frac{246}{6} = 205$; mais $\frac{41}{1}$ multiplié par 6, qui eſt le pignon le moins nombré que l'on doive employer, donne une roue 246 d'un

trop grand nombre de dents, & trop disproportionnée à la roue 30; ainsi la regle que nous venons de donner est applicable à trop peu de nombres. Mais on la rendra beaucoup plus générale par la méthode suivante, qui est une suite de la même regle, & qui donne des rouages mieux proportionnés, par la raison que lorsque par la premiere regle on trouve un diviseur premier trop grand pour pouvoir être multiplié par les ailes du pignon, on peut recourir à la seconde que nous allons donner, laquelle rejette ce premier diviseur pour servir à former une roue.

II. PARTIE DE LA REGLE.

1495. Faites un produit des ailes qu'on veut donner aux pignons, par lequel produit vous multiplierez le nombre des révolutions qu'on veut avoir; prenez autant de racines de ce second produit que vous voulez avoir de roues.

I. EXEMPLE.

1496. Je prends pour exemple le précédent, par lequel on demande qu'une roue menée fasse 205, tandis que la premiere qui mene en fait un. On veut employer deux roues & deux pignons de 6 ailes chacun: je les multiplie l'un par l'autre, ce qui donne 36; par lequel nombre je multiplie 205; vient 7380, dont je prends tous les diviseurs premiers que j'écris de haut en bas comme on le voit:

7380	2
3690	2,4
1845	3,6,12
615	3,9,18,36
205	5,20,30,60,45,90,180
41	41,82,123,146, &c.
1	

1497. Je multiplie le premier diviseur 2 par le second 2, & j'écris le produit 4 à la droite du deuxieme diviseur;

enſuite je multiplie le premier diviſeur 2, & le produit 4 par le troiſieme diviſeur 3 : j'écris les produits 6 & 12 à la droite du troiſieme diviſeur. Je multiplie de même par le quatrieme diviſeur tout ce qui eſt au-deſſus, en omettant d'écrire ceux qui ſont déja écrits, & ainſi de ſuite juſqu'au dernier diviſeur ; tous ces produits ſeront autant de diviſeurs juſtes du nombre propoſé 7380.

1498. Pour avoir les deux roues qu'on cherche, entre ces diviſeurs prenez-en un à diſcrétion, qui ſervira pour une roue, comme 60, par exemple ; diviſez enſuite 7380 par 60, le quotient donnera 123 pour la ſeconde roue ; mais comme ces deux roues ſont trop inégales en nombre, au lieu de 60 je prends 90, par lequel je diviſe 7380, je trouve pour quotient 82 ; ainſi les deux roues ſont 90 & 82, & les pignons ont été choiſis de 6 ailes ; j'ai donc $\frac{90}{6} \times \frac{82}{6} = 205$.

1499. On voit que cette méthode fournit une très-grande quantité de nombres qui rempliſſent les conditions requiſes, & que le choix fait parmi ces nombres pour une des roues, donne l'autre ; mais pour abréger, on peut le faire comme dans l'exemple ſuivant.

II. EXEMPLE.

1500. On veut faire faire 255 tours à la derniere roue d'un rouage, tandis que la premiere en fait un, & l'on veut employer deux roues & deux pignons. Les deux pignons étant de 6, leur produit ſera 36, par lequel on multipliera 255, & l'on aura 9180, dont on prendra tous les diviſeurs premiers, qui ſont 2, 2, 3, 3, 3, 5, 17. (Je multiplie ces nombres premiers deux à deux, puis trois à trois, enſuite quatre à quatre, cinq à cinq, &c, en omettant d'écrire les produits qui le ſont déja, & j'ai par ce moyen tous les nombres qui peuvent diviſer ſans reſte le nombre propoſé. J'ai donc $2 \times 2 = 4$, $2 \times 3 = 6$, $2 \times 5 = 10$, $2 \times 17 = 34$, $3 \times 3 = 9$, $3 \times 5 = 15$, $3 \times 17 = 51$, $5 \times 17 = 85$, $2 \times 2 \times 3 = 12$, $2 \times 2 \times 5 = 20$, $2 \times 2 \times 17 = 68$, $2 \times 3 \times 5 = 30$, $2 \times 3 \times 17 = 102$, $2 \times 5 \times 17 = 170$, $3 \times 3 \times 3 = 27$, $3 \times 3 \times 5 = 45$, $3 \times 3 \times 17 = 153$, $3 \times 5 \times 17 = 255$,

2×2×3×3=36, 2×2×3×5=60, 2×2×3×17=204, 2×3×3×3=54, 2×3×3×5=90, 2×3×3×17=306, 2×3×5×17=510, 3×3×3×5=135, 3×3×3×17=459, 3×3×5×17=765, 2×2×3×3×3=108, 2×2×3×3×5=150, 2×2×3×3×17=612, 2×3×3×3×5=270, 2×3×3×3×17=918, 3×3×3×5×17=2295, 2×2×3×3×3×5=540, 2×2×3×3×3×17=1836, 2×3×3×3×5×17=4590, 3×3×3×5×17, &c.) Ceci étant trop long....

1501. Je prends à volonté le produit de deux, de trois, de quatre, de cinq, &c, de ces diviſeurs, ſelon que je juge que ce produit donne un nombre propre à faire une de mes roues; & le produit des autres diviſeurs ſera le nombre de dents de l'autre roue: ainſi ayant pris 2×2×3×5, qui fait 60 nombre de dents d'une des roues, les autres diviſeurs 3×3×17 donnent 153 pour le nombre des dents de l'autre roue; mais comme ce nombre eſt trop grand, je choiſis une autre combinaiſon des diviſeurs; par exemple, 2×3×3×5 qui fait 90; les autres 2×3×17 donnent 102; ainſi mes roues doivent avoir l'une 90, & l'autre 102 dents.

PROBLEME PREMIER.

Trouver les dents des roues pour former un rouage de Montre, qui ſoit tel, que tandis que la roue des minutes fait un tour, le balancier batte 15200 vibrations.

1502. JE REMARQUE, que pour n'avoir pas des roues trop nombrées, il faudra employer, ainſi que cela ſe pratique pour les montres ordinaires, quatre roues & trois pignons, dont le dernier portera la roue de rencontre qui fera la quatrieme roue: jemploye des pignons de 6 ailes dont le produit eſt 216, que je multiplie par 15200, j'ai le produit 3283200, qu'il faut diviſer d'abord par le double du nombre de dents que je veux donner à la roue d'échappement (à cauſe que chaque dent d'échappement produit deux vibrations): je

prends pour la roue d'échappement un nombre, dont le double diviſe ſans reſte 3283200 : je prends, par exemple 15, dont le double 30 donne pour quotient 109440, dont je cherche tous les diviſeurs qui ſont nombres premiers; ce ſont 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 3. 3. 5. 19. Je partage ces nombres en trois lots (*) pour mes trois roues, obſervant ſeulement que le produit de chaque lot faſſe un nombre de dents propre à l'eſpece d'Horloge dont il s'agit : par exemple, je prends $2\times2\times2\times2\times3=48$, puis $2\times2\times2\times5=40$, enfin $3\times19=57$: ainſi mes roues ſont de 48, 40 & 57 dents : ou bien je prens $2\times2\times2\times2\times2\times2=64$, $3\times3\times5=45$, & $2\times19=38$.

PROBLEME II.

Trouver les nombres à mettre à un rouage pour avoir une roue qui acheve ſa révolution en 365 jours.

1503. JE SUPPOSE qu'on veuille faire conduire cette roue de 365 par une roue qui faſſe un tour en 12 heures, & que l'on veuille employer deux roues & deux pignons de 6 ailes; on aura donc la roue de 12 heures qui devra faire 730 tours, pendant que la roue annuelle en fait un; on multipliera 730 par le produit des deux pignons qui eſt 36; ce qui donne 26280, dont on cherchera les nombres premiers, 2, 2, 2, 3, 3, 5, 73 qu'on diviſera en deux lots, comme $2\times73=146$, & $2\times2\times3\times3\times5=180$; on a donc $\frac{146}{6}\times\frac{180}{6}\times12^{h}=365$ jours.

PROBLEME III.

Trouver les nombres de dents des roues propres à former un rouage, pour qu'une roue faſſe ſa révolution en 365 jours 6 heures.

1504. JE REDUIS 365 jours en heures, en multipliant 365 par 24, ce qui donne 8760; j'ajoute 6 heures, & j'ai 8766 :

(*) Si le rouage eût été compoſé de quatre roues, outre celle de rencontre, il eût fallu partager les diviſeurs en quatre lots, &c.

c'eſt-à-dire, que la roue des minutes devra faire 8766 tours, tandis que la roue annuelle en fera un : ce rouage pourra être fait avec trois roues & trois pignons ; je donne 6 ailes à chaque pignon, leur produit eſt 216, que je multiplie par 8766 ; ce qui donne 1893456 dont je cherche tous les diviſeurs premiers, & j'ai 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 487 ; le dernier diviſeur fait voir qu'il faudra employer une roue de 487 dents, je partage les autres en deux lots, comme $2\times2\times2\times3\times3=72$, & $2\times3\times3\times3=54$; on a donc $\frac{487}{6}\times\frac{72}{6}\times\frac{54}{6}\times 1^{h}=365$ jours 6^{h}.

PROBLEME IV.

Trouver les nombres de dents qu'il faut mettre à un rouage d'Horloge à ſonnerie, pour la faire marcher 96 jours ſans remonter.

1°. *Du mouvement de l'Horloge.*

1505. JE SUPPOSE que l'on veuille employer un pendule de 14 pouces une ligne, on cherchera dans la table des longueurs des pendules (qui eſt à la fin de la II. Partie) quel eſt le nombre de vibrations qu'un tel pendule fait en une heure ; on trouve 5800.

1506. Pour produire ce nombre de vibrations, & pour n'avoir pas des roues d'un trop grand nombre de dents, il faudra employer trois roues & deux pignons : ſavoir, la roue de minute, celle de champ & la roue d'échappement. Pour les deux pignons, je leur donne un nombre d'ailes à volonté comme 6, dont le produit eſt 36 par lequel je multiplie 5800, ce qui donne 208800 ; je choiſis pour les dents de la roue d'échappement un nombre dont le double puiſſe diviſer 208800 ſans reſte ; je prends 30 dont le double eſt 60, j'ai pour quotient 3480, dont je cherche tous les nombres premiers 2, 2, 2, 3, 5, 29 que je partage en deux lots, comme $2\times2\times3\times5=60$, & $2\times29=58$; ainſi j'ai, roue de minute 60, roue de champ 58, & roue d'échappement 30, & deux pignons, ce qui produit 5800 vibrations ; car $\frac{60}{6}\times\frac{58}{6}\times30\times2=5800$; voilà pour les vibrations.

1507. Maintenant pour trouver les autres roues du rouage, afin de faire marcher l'Horloge 96 jours, il faut d'abord chercher le nombre d'heures que contiennent 96 jours, ce que l'on trouvera en multipliant 96 par 24, on aura 2304: ſuppoſant que la premiere roue du mouvement peut faire 9 tours en 96 jours, ſoit par un poids dont la corde entoure 9 fois le cylindre, ſoit par un reſſort mis dans un barillet; en diviſant 2304 par 9, le quotient 256 marquera le nombre de tours que doit faire la roue de minutes pour un de la premiere roue: je ſuppoſe qu'on veuille produire ce mouvement par deux roues & deux pignons, la premiere roue, & la grande moyenne, & que l'on veuille employer des pignons de 8, on fera le produit des pignons qui eſt 64; on multipliera 256 par 64, on prendra les nombres premiers, diviſeurs du produit 16384, on aura 2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2; qu'on partagera en deux lots, comme 2×2×2×2×2×2×2,2,= 128 & 2×2×2×2,2,2,2=128.

2°. *Du rouage de la ſonnerie,*

1508. LA SECONDE roue d'une ſonnerie ordinaire porte la roue de compte, & fait un tour en 12 heures; & comme une telle ſonnerie ſonne les heures & les demies, le marteau frappe 90 coups, pendant que la roue de compte fait un tour; ainſi en plaçant 90 chevilles ſur cette roue, ces chevilles ſerviroient à faire frapper le marteau; mais comme ces chevilles ſeroient fort près les unes des autres (à moins de faire la roue très-grande) leur effet avec la levée de marteau, demanderoit une préciſion qui n'eſt pas à la portée de tous les Ouvriers; c'eſt pour prévenir cet inconvénient que l'on place les chevilles ſur une roue particuliere: on l'appelle *Roue de cheville*, (81) qui eſt menée par la roue de compte: ſi donc on place 10 chevilles ſur cette roue, il faudra qu'elle faſſe 9 tours pour un de celle de compte; & ſi on donne 8 dents au pignon de la roue de cheville, la roue de compte devra avoir 72 dents; maintenant pour trouver le nombre de dents de la roue de cheville, on obſervera qu'il faut que la roue d'arrêt (82) dans

pignon de laquelle elle engrene, faſſe un tour à chaque coup de marteau ; or à chaque tour de la roue de cheville il en frappe 10, ainſi la roue d'arrêt devra faire dix tours pour un de celle des chevilles ; ſi donc on donne 6 ailes au pignon de la roue d'arrêt, celle des chevilles aura 60 dents : quant aux nombres de dents de la roue d'arrêt & de celle de volant, il dépend & de la force du moteur & de la largeur que l'on veut donner au volant ; on donne communément 54 dents à celle d'arrêt & 48 à celle de volant, & on emploie des pignons de 6.

1509. Pour faire marcher la ſonnerie pendant 96 jours ſans la remonter, la roue de compte devra faire 2 fois 96 tours, puiſqu'elle met 12 heures à chaque révolution ; ſi donc on ſuppoſe que la premiere roue de ſonnerie doit faire 9 tours en 96 jours, en diviſant 192 par 9, le quotient $21\frac{1}{3}$ ſera le nombre de tours que devra faire la roue de compte pour un de la premiere ; il faudra employer deux roues & deux pignons ; je prends des pignons de 12 dont le produit eſt 144, que je multiplie par $21\frac{1}{3}$, ce qui donne 3072, dont je prends les diviſeurs premiers 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3 que je partage en deux lots comme $2\times2\times2\times2\times2\times2=64$, & $2\times2\times2\times2\times3=48$; Voici donc le rouage de cette Horloge.

Mouvement.

$$\frac{128}{8}\times\frac{128}{8}\times\frac{60}{6}\times\frac{58}{6}\times30\times2.$$

Sonnerie.

$$\frac{48}{12}\times\frac{64}{12}\times\frac{72}{8}\times\frac{60}{6}\times\frac{54}{6}\times\frac{48}{6}.$$

PROBLEME V.

Trouver le nombre de dents qu'il faut mettre à un Rouage de Montre à ſecondes d'un ſeul battement, pour la faire marcher un an ſans remonter.

1510. JE SUPPOSE que la fuſée peut faire 12 tours $\frac{1}{2}$, pour faire marcher la montre 368 jours 13 ^{h}, & que l'on veut

employer 4 roues & 4 pignons; ſavoir 3 pignons de 6 & un de 8, & que le dernier pignon fera un tour par minute, & portera une cinquieme roue qui ſera celle d'échappement: dans cette ſuppoſition la roue de fuſée fera un tour en 30 jours 5 heures, ce qui donne 43500 minutes, c'eſt-à-dire, que la roue d'échappement fera 43500 révolutions pour une de la fuſée.

1511. Pour trouver les nombres des 4 roues, il faut faire le produit des 4 pignons qui eſt 1728, & multiplier 43500, par ce produit, on aura 75168000, dont on trouvera tous les nombres premiers qu'on partagera en quatre lots convenables;

$$\text{comme } 2\times2\times29 = 116$$
$$2\times2\times3\times3\times3 = 108$$
$$2\times2\times5\times5 = 100$$
$$2\times2\times3\times5 = 60$$
$$\frac{116}{8}\times\frac{108}{6}\times\frac{100}{6}\times\frac{60}{6} = 43500.$$

1512. Si donc on place ſur le quatrieme pignon une roue d'échappement qui ait 30 dents, & que le balancier faſſe une vibration par ſeconde, cette roue fera un tour par minute (26) & par conſéquent la roue de fuſée demeurera 30 jours 5 heures à faire une révolution; ainſi en faiſant faire 12 tours $\frac{1}{7}$ de chaîne à la fuſée, la montre marchera 368 jours 13 ^{h}. ſans remonter: maintenant pour faire tourner les aiguilles des minutes & des heures, on le fera de la maniere que je l'ai pratiqué à la montre à équation d'un mois, c'eſt-à-dire, que l'axe du troiſieme pignon portera un pignon de rapport, qui menera la roue des minutes: or ce troiſieme pignon porte la quatrieme roue qui mene le pignon d'échappement; on choiſira la roue de 60 dents, elle reſtera donc 10 minutes à faire un tour; elle devra donc faire 6 tours pour un de la roue de minute; ainſi en plaçant ſur l'axe du troiſieme pignon un pignon de 10 ailes qui engrene dans une roue de 60, cette derniere fera un tour par heure: le reſte comme il eſt marqué dans le calibre de la montre d'un mois (*Planche VIII, fig.* 4) & expliqué, art. 328.

Le même rouage peut ſervir pour une pendule d'un an.

1513. Il faut obſerver, par rapport à la diſtribution des dents des premieres roues, lorſque c'eſt des horloges à reſſort, que les roues de barillet, quoique les plus grandes, ne doivent pas être les plus *chargées de nombres*, par la raiſon qu'il faut que les dents ſoient très-fortes pour pouvoir réſiſter au choc violent des reſſorts qui caſſent: cette obſervation n'eſt pas applicable aux montres qui ont des fuſées; dans ces machines, lorſque le reſſort caſſe, il ne cauſe pas les mêmes accidents.

1514. Il faut auſſi obſerver, par rapport aux dernieres roues d'une montre ou horloge, que pour réduire les frottements à la moindre quantité, il faut tenir ces roues les plus petites qu'il eſt poſſible; pour cet effet, il faut employer des pignons du moindre nombre d'ailes (& avec leſquels cependant on puiſſe faire de bons engrenages) comme de 6, par exemple; par ce moyen on diminue le diametre des roues, dans le même rapport que l'on diminue les ailes des pignons. Si par exemple, on a une roue de 60 dents qui mene un pignon de 12 (celui-ci fait 5 tours pour un de la roue) on pourra faire une autre roue qui produiſe le même effet, en conſervant les dents de même groſſeur, & qui ſoit moitié plus petite, en employant un pignon de 6; ainſi cette roue devra avoir 30 dents; elle fera donc faire 5 tours au pignon; ſi donc on diminue le diametre de cette roue de moitié, comme on a fait des ailes du pignon, elle aura des dents de même groſſeur, produira le même effet que faiſoit celle de 60; cette roue ſera donc préférable à la premiere, car elle pourra être également ſolide, & être plus de moitié plus légere, d'où ſuit une diminution de frottement, & une moindre inertie, & par conſéquent une moindre réſiſtance au mouvement.

1515. Quant à la différence de l'engrenage, on ne doit pas en tenir compte, puiſqu'il eſt poſſible de faire un auſſi bon engrenage avec un pignon de 6 qu'avec celui de 12; il ne faut pour cela que pratiquer des dents pleines à la roue, & leur donner la figure que l'on a déterminée (1441).

1516. Quant au calcul dont on doit faire uſage pour

trouver des révolutions abſolument exactes, telles que l'exigent les mouvements de ſphere, planiſphere, révolution du ſoleil ou de la lune, nous nous contenterons de renvoyer au *Cours de Mathématique de M. Camus*, au *Traité des Horloges du P. Alexandre*, &c; cet objet ayant été traité mieux que je ne pourrois le faire.

CHAPITRE IX.

Du Pendule ſimple.

1517. ON APPELLE *Pendule ſimple*, un corps dont toute la peſanteur eſt réunie en un ſeul point, & lequel étant ſuſpendu à un fil ſuppoſé ſans peſanteur, peut ſe mouvoir en décrivant des arcs de cercle autour du point où le fil eſt ſuſpendu. Les loix que ſuivent les longueurs des pendules, les temps de vibrations, &c, ont été démontrées par Huighens & par les Auteurs qui ont traité du Pendule d'après lui; voyez Muſſembroech, *Eſſais de Phyſique*, *tome* 1, *page* 201; s'Graveſende, *tome* 1, *page* 102; la Méchanique de Trabaut; celle de M. l'Abbé de la Caille, &c.

Nous rapporterons ici le précis des loix du pendule.

1518. On démontre, 1°, que les pendules qui décrivent des arcs quelconques, font leurs vibrations en des temps qui ſont entr'eux comme les racines quarrées des longueurs des pendules.

1519. 2°, Que les longueurs des pendules ſont entr'elles comme les quarrés des temps des vibrations dans chacun: or plus un pendule eſt long, plus il reſte de temps à faire ſes vibrations; enſorte que ſi les longueurs des deux pendules ſont entr'elles comme 4 & 1, les temps des vibrations ſeront entr'eux comme 2 & 1, racines quarrées de ces longueurs.

1520. D'où il ſuit, que tandis que le pendule 4 fera une vibration, le pendule 1 en fera deux.

1521. Il ſuit encore, que ſi ces pendules battent pendant le même temps, les nombres des vibrations ſeront entr'eux comme 1 eſt à 2; c'eſt-à-dire, réciproquement comme les racines quarrées des longueurs.

1522. Les longueurs de deux pendules ſont entr'elles réciproquement, comme les quarrés des nombres des vibrations faites dans le même temps : ſi donc on connoît les nombres de vibrations que fait un pendule dans un temps donné, & la longueur de ce pendule, on déduira la longueur de tout autre pendule quelconque, ſi on ſait le nombre des vibrations qu'il doit battre en un certain temps; & réciproquement la longueur d'un pendule étant donnée, on trouvera quel eſt le nombre de vibrations qu'il fera en un certain temps, ainſi que nous allons le faire voir par des exemples qui ſerviront à montrer comment la table des longueurs placée à la fin de la ſeconde Partie a été conſtruite.

1523. Huighens avoit fixé la longueur du pendule à ſecondes, c'eſt-à-dire, qui fait 3600 vibrations par heure, à trois pieds horaires qui répondent à trois pieds 8 lignes $\frac{1}{2}$ *Pied-de-Roi:* & ſelon les expériences très-préciſes faites par M. de Mairan, *Mémoires de l'Académie*, année 1735, *page* 202, & par M. Bouguer, rapportées dans les Mémoires de l'Académie, & dans ſon Livre de la Meſure de la Terre, ſelon, dis-je, ces expériences, la longueur du pendule ſimple qui bat les ſecondes à Paris (*), a été fixée à 3 pieds 8 lig. $\frac{57}{100}$ pied-de-Roi, différence très-petite, puiſque le pendule ſimple qui bat les ſecondes, n'eſt que de $\frac{7}{100}$ de lignes plus long, que ne l'avoit trouvé Huighens.

1524. Puiſque les longueurs ſont en raiſon réciproque des quarrés des nombres des vibrations faites en un même temps; c'eſt-à-dire, que ſi deux pendules font, l'un, une vibration par ſeconde, & l'autre deux, la longueur de celui-ci ſera 4

(*) Le pendule qui bat les ſecondes, n'a pas la même longueur dans tous les pays; il eſt plus long ſous le Pôle & plus court ſous l'Equateur; c'eſt à M. Richer que l'on doit cette obſervation; nous donnerons dans le Chapitre 41, une table des différences des longueurs des pendules, obſervées dans différentes latitudes.

fois moindre que celle du premier : il ſuit que la longueur du pendule à demi-ſecondes, doit être de 9 pouces 2 lignes $\frac{14}{100}$.

PROBLEME I.

La longueur d'un Pendule étant donnée, trouver combien il doit faire de vibrations par heure.

1525. LES nombres d'oſcillations faites dans le même temps ſont en raiſon inverſe des racines quarrées des longueurs. Suppoſant donc que la longueur du pendule dont on veut trouver le nombre d'oſcillations en une heure, eſt de 12 pouces, on aura la proportion: La racine quarrée de la longueur du pendule à ſecondes (ſuppoſé de 3 pieds 8 lig. $\frac{1}{2}$) eſt à la racine quarrée de celle du pendule donné, comme le nombre cherché x de vibrations de ce pendule eſt à 3600 vibrations du pendule à ſecondes; réduiſant l'un & l'autre pendule en demi-lignes, on aura $\sqrt{881}$: $\sqrt{288}$: : x : 3600; la racine quarrée de 881 eſt d'environ 29, 68: & celle de 288 eſt 16, 97; on a donc la proportion 29, 68 : 16, 97 : : x : 3600 vibrations, on trouve la valeur de $x = 6296$: c'eſt-à-dire, que le pendule qui a 12 pouces de longueur, fait 6296 vibrations par heure; nous trouvons 4 vibrations de moins par heure, qu'il ne doit faire effectivement, parce que nous n'avons pouſſé que juſqu'à deux décimales l'extraction de la racine; mais cette approximation eſt ſuffiſante pour donner une idée de la méthode que l'on doit ſuivre pour trouver le nombre des vibrations d'un pendule quelconque en un temps donné.

PROBLEME II.

Le nombre des vibrations qu'un Pendule fait par heure étant donné, trouver la longueur de ce Pendule.

1526. LES longueurs des pendules étant entr'elles dans la raiſon inverſe des quarrés des nombres de leurs vibrations dans le même temps, on aura la proportion: Le quarré du nombre

des vibrations du pendule cherché eſt au quarré des vibrations du pendule à ſecondes, comme la longueur du pendule à ſecondes eſt à celle du pendule cherché. Soit donc 1800 le nombre de vibrations que doit faire par heure le pendule cherché, on élevera 1800 au quarré, c'eſt-à-dire, on multipliera ce nombre par lui-même, & ainſi de 3600 vibrations du pendule à ſecondes; & l'on aura 324|0000: 1296|0000:: 3 pieds 8 lignes $\frac{1}{2}$, & en ôtant les zéros 324: 1296:: 3 pieds 8 lig. $\frac{1}{2}$: x & 324 étant à 1296, comme 1 eſt à 4, on a 1: 4:: 3 pieds 8 lig. $\frac{1}{2}$: x; ainſi multipliant les termes moyens, & diviſant par l'extrême connu, on a la valeur de x=12 pieds 2 pouces 10 lig. qui eſt la longueur du pendule, qui fait 1800 vibrations par heure; c'eſt en ſuivant cette méthode que j'ai calculé la Table des longueurs des pendules, miſe à la fin de cette 2e Partie.

1527. Le pendule tel que nous l'avons ſuppoſé, n'exiſte ni ne peut exiſter; car il n'eſt pas poſſible de faire une verge ſans peſanteur, & une lentille ou boule ſans étendue, & dont toute la maſſe ſoit réunie en un ſeul point; or, dès que la verge eſt peſante, & la lentille étendue, le centre d'oſcillation, c'eſt-à-dire, le point du pendule où toute la force eſt réunie, de maniere que ce point puiſſe vaincre la plus grande réſiſtance; ce centre, dis-je, remonte au-deſſus du centre de la boule: or comme c'eſt ce point qui détermine la longueur du pendule ſimple, il faut calculer combien la peſanteur de la verge & l'étendue de la boule ou lentille remontent le centre d'oſcillation du pendule. Nous ne nous arrêterons point ici à traiter du calcul du centre d'oſcillation: ce calcul eſt trop difficile, & deviendroit par-là inutile au plan que je me ſuis propoſé; ceux qui ſeront curieux de voir cet objet, peuvent conſulter le Traité des horloges d'Huighens, s'Graveſende, Muſſembroech, l'Abbé de la Caille, & en général tous les ouvrages de Méchanique moderne.

1528. La conſidération du centre d'oſcillation néceſſaire, comme nous l'avons dit, pour déterminer la longueur du pendule ſimple, eſt abſolument inutile dans l'application du pendule aux horloges; mais une connoiſſance que ce calcul donne

eſt l'avantage qu'il y a d'employer des verges qui ne ſoient pas peſantes, afin que la force du pendule ſoit la plus grande poſſible; car en ſuſpendant une barre de fer ou de métal, par une de ſes extrémités, de maniere à pouvoir oſciller comme un pendule, & que la longueur fût de 660 lignes $\frac{1}{4}$, c'eſt-à-dire, de 4 pieds 7 pouc. $\frac{1}{4}$ lig. chaque vibration de ce pendule ſeroit d'une ſeconde; mais comme un tel pendule auroit beaucoup de ſurface & peu de ſolidité, il éprouveroit une plus grande réſiſtance de la part de l'air.

1529. Il paroîtroit donc en ſuivant la théorie, qu'il ſeroit préférable d'employer un pendule, dont toute la maſſe de la lentille ſoit réunie en un point, & que la verge fût légere; mais nous verrons ci-après que l'on eſt forcé de s'écarter de la théorie, à cauſe des obſtacles cauſés par la matiere dont la verge eſt compoſée; au reſte, il faut obſerver, par rapport à la force dumouvement du pendule, abſtraction faite de la réſiſtance de l'air, qu'elle eſt la même que celle d'un autre pendule auſſi à ſecondes, dont la lentille auroit le même poids réuni en un ſeul point, & la verge ſuppoſée ſans peſanteur; car ſi les parties de la barre en queſtion, qui ſont ſituées près du centre de ſuſpenſion, donnent peu de force de mouvement, vu le peu de viteſſe qu'elles ont, d'un autre côté les parties de la barre ſituées au-deſſous du centre d'oſcillation en donnent beaucoup, enſorte que le calcul donnera la même force dans l'un ou l'autre cas.

1530. Nous avons trouvé par l'expérience, que dans les horloges à ſecondes, dont la lentille peſe 21 liv. & dont la verge d'acier a 5 lignes de large, 2 d'épaiſſeur, le centre de la lentille deſcend d'environ 3 lignes $\frac{1}{2}$ au-deſſous du centre d'oſcillation, l'horloge étant réglée; & lorſque la lentille peſe 40 liv. $\frac{1}{2}$, & que la verge eſt formée par un canon qui peſe 9 liv. 2 onces, l'horloge étant réglée, le centre de la lentille eſt de 13 lignes $\frac{1}{2}$ au-deſſous du centre d'oſcillation, c'eſt-à-dire, que la diſtance du point de ſuſpenſion à celui de la lentille eſt de 3 pieds un pouce 9 lignes.

Uſage de la Table des longueurs des Pendules.

1531. Cette Table eſt d'une très-grande utilité, car par ſon moyen on trouve dans l'inſtant le nombre de vibrations qu'un pendule de longueur donnée doit battre par heure; ce qui ſert à déterminer le nombre des dents du rouage : voulant, par exemple, appliquer à une horloge un pendule qui ait 5 pieds de longueur, on verra dans la Table quel eſt le nombre de vibrations qui répond à 5 pieds ou le plus approchant, on trouvera 2800 à côté de 5 pieds 8 lignes, c'eſt-à-dire, que ce pendule fera 2800 vibrations par heure : on trouvera par ce moyen le nombre des dents du rouage convenable à un tel pendule (1471).

1532. Si au contraire on a un rouage donné, & que les nombres des dents ſoient déterminés, & par conſéquent les vibrations, on trouvera dans la table, à côté de cette longueur du pendule, le nombre de vibrations qui lui eſt convenable.

CHAPITRE X.

Des propriétés du Pendule ſimple.

1533. ON PEUT établir ici pour principe ou axiôme, qui n'a pas beſoin de démonſtration. 1°, *Que ſans la réſiſtance de l'air, & les frottements de la ſuſpenſion, un pendule une fois mis en mouvement le conſerveroit éternellement.*

1534. 2°, *Qu'en ſuppoſant les mêmes choſes, ce pendule feroient ſes oſcillations de même étendue & de même durée, puiſqu'anéantiſſant les réſiſtances de l'air, les effets du chaud & du froid ſur le corps qui ſuſpend la lentille ſeroient nuls; ainſi les oſcillations du pendule ſeroient iſochrones.*

1535. C'eſt de ce principe que nous partirons, pour établir la maniere la plus avantageuſe de conſtruire une Pendule

pour en rendre les oſcillations iſochrones ; car s'il n'eſt pas poſſible d'éviter entiérement la réſiſtance de l'air, les frottements, les effets du chaud & du froid ſur la verge du pendule, au moins ferons-nous voir qu'il eſt poſſible de les réduire infiniment, & que l'on peut parvenir à compoſer une horloge, dont les écarts ſoient infiniments petits, malgré les divers obſtacles qui s'oppoſent à la juſteſſe de ces machines.

1536. Nous allons donc examiner, 1°, la maniere de ſuſpendre un corps, pour que le frottement détruiſe une moindre partie du mouvement.

1537. 2°, Nous chercherons la forme la plus avantageuſe à donner à un corps, pour que les réſiſtances de l'air ſoient moindres.

1538. 3°, Les expériences que nous rapporterons ſur les réſiſtances des corps qui ſe meuvent dans l'air, ſerviront à établir les loix de la réſiſtance de l'air.

1539. 4°, Nous calculerons la force requiſe pour entretenir le mouvement des Pendules, ſelon qu'ils décrivent des plus grands ou petits arcs ; & nous ferons voir que c'eſt de la quantité plus ou moins grande de cette force, comparée à la quantité de mouvement du pendule, que dépend la juſteſſe d'une horloge.

1540. 5°, Nous comparerons les longs & courts pendules, afin d'en conclure l'avantage effectif.

1541. 6°, Nous rapporterons les expériences que nous avons faites ſur les effets de la chaleur ſur tous les corps, & nous déduirons delà le méchaniſme le plus avantageux, pour réduire à zéro les effets du chaud & du froid.

1542. Ces différents objets feront la matiere de pluſieurs Chapitres ; nous décrirons à meſure les machines que nous avons compoſées pour faire les expériences que nous rapportons.

1543. Je terminerai cette partie des Pendules par la deſcription de l'horloge aſtronomique, que j'ai compoſée d'après les expériences & les principes établis ci-après.

CHAPITRE XI.

De la maniere la plus avantageuſe de ſuſpendre un Pendule, pour lui faire conſerver le plus long-temps un mouvement imprimé.

Deſcription de la Machine propre à faire les Expériences ſur les ſuſpenſions; & ſur la réſiſtance de l'air.

1544. ON SUSPEND ordinairement les pendules des Horloges par des reſſorts ou par des couteaux. Avant de m'attacher à rendre la ſuſpenſion du pendule la plus parfaite qu'il eſt poſſible, j'ai comparé par l'expérience la ſuſpenſion à couteau avec celle à reſſort: pour cet effet, j'ai exécuté avec beaucoup de ſoin une ſuſpenſion à couteau repréſentée (*Planche XXII, fig.* 1.) à laquelle j'ai ſuſpendu la lentille *A* qui peſe 21 liv. $\frac{1}{4}$.

1545. Sur la piece de fer *BC* qui porte la lentille, eſt attachée en *E* une ſuſpenſion à reſſort. Ces deux ſuſpenſions ſont tellement diſpoſées, que l'on peut alternativement y ſuſpendre le même pendule *AF*; la piece de fer *BC* porte une branche *DD*, dont la partie *G* eſt recoudée pour porter le limbe *HI*: ce limbe eſt diviſé en 10 degrés du cercle; on peut l'écarter ou l'approcher de *G*, ſelon qu'il en eſt beſoin, pour le mettre au-deſſous de la pointe *L* ou *M* du pendule, lorſque celui-ci eſt ſuſpendu par le couteau ou par le reſſort. La piece *a b* qui eſt portée par la ſuſpenſion à couteau, eſt une eſpece d'ancre, dont voici l'uſage. Cet ancre ſert à meſurer la durée des vibrations par les grands ou petits arcs: *a b* fait échappement avec la roue *c* qui a 30 dents; l'axe de cette roue porte une aiguille qui marque par ce moyen les ſecondes

ſur le petit cadran; la roue *c* eſt mue par celle *d*, & celle-ci par la roue *e*, dont l'axe porte un petit cylindre, ſur lequel s'enveloppe une corde qui porte un petit poids, capable ſeulement de faire tourner la roue, tellement qu'à chaque battement du pendule, la roue *c* avance d'une diviſion; cette roue ne reſtitue point de force au pendule; elle ſert uniquement à compter ſes vibrations; ainſi en faiſant parcourir des petits arcs au pendule, on voit de combien cette petite horloge avance; & en faiſant enſuite décrire des plus grands arcs, on voit de combien elle retarde, & ainſi ſucceſſivement en lui faiſant décrire différents arcs. Je ne rapporte point ici les expériences que j'ai faites là-deſſus; il ſuffit de dire que les grands arcs ſont plus de temps à être parcourus, ainſi que la théorie le donne. L'ancre *a b* ſert uniquement pour faire les expériences dont nous venons de parler; il eſt attaché au couteau au moyen d'une vis. Pour faire les expériences ſuivantes, il faut ôter cet ancre qui devient alors inutile.

I. EXPÉRIENCE.

1546. LE pendule *AF* étant ſuſpendu à la ſuſpenſion à couteau; je lui ai fait parcourir l'arc *HI*, qui eſt de 10 degrés; & l'ayant abandonné à lui-même, ſon mouvement a duré 24 heures 13 minutes, pour être réduit à un arc d'un quart de degré.

II. EXPÉRIENCE.

1547. AYANT ſuſpendu le même pendule aux reſſorts, je lui ai fait décrire le même arc *HI*: le mouvement du pendule a été réduit à $\frac{1}{4}$ de degré en 21 heures; ces deux expériences prouvent que la ſuſpenſion à reſſort détruit une plus grande quantité de mouvement que celle à couteau, puiſque c'eſt le même corps dont le mouvement eſt le même, & qu'il éprouve les mêmes réſiſtances de l'air, ayant eu égard à ce que le barometre fût à la même hauteur dans les deux expériences.

1548. Nous rejetterons donc la méthode de ſuſpendre un pendule par des reſſorts comme la plus défectueuſe; car indépendamment de l'expérience ci-deſſus, il me paroît qu'il pourroit fort bien arriver que le point de mouvement des reſſorts, c'eſt-à-dire, le centre de ſuſpenſion changeât ſelon le plus ou le moins d'élaſticité des reſſorts; d'ailleurs l'alongement ou le raccourciſſement des reſſorts ne peut être compenſé par la verge, puiſque l'air les frappe avec un effet plus prompt qu'il ne fait la verge. Les reſſorts ſont fort ſujets à être caſſés; très-difficiles à être rétablis, & plus incommodes pour être tranſportés: enfin les ſuſpenſions à reſſort ont encore un défaut; c'eſt que le poids de la lentille agit de maniere que la chaleur ayant dilaté le reſſort, le froid ne le raccourcira pas autant que la chaleur l'avoit alongé; enſorte que l'horloge ira toujours en retardant de plus en plus, ainſi que nous le ferons voir ci-après par l'expérience: nous nous attacherons donc à rendre la ſuſpenſion à couteau ſuſceptible d'une moindre réſiſtance.

1549. Pour y parvenir, il faut obſerver, 1°, le choix de l'acier, le ſens des pores de la rainure par rapport à ceux du couteau, & la dureté de la trempe: 2°, la maniere de former la rainure & l'angle du couteau: 3°, la longueur de l'appui du couteau ſur la rainure relativement au poids de la lentille.

1550. Par rapport à la qualité de l'acier, il faut que les pores en ſoient fins & ſerrés; que l'acier ſoit le plus pur qu'il eſt poſſible, ſans veine & ſans paille. L'acier eſt formé par des eſpeces de fibres imperceptibles, ſemblables à celles du bois; ſi donc on poſoit les fibres du couteau dans le ſens des fibres de la rainure, celles-là y engreneroient; ce qui cauſeroit un très-grand frottement, au lieu qu'en plaçant les fibres de la rainure en travers, le même effet n'arrive pas.

1551. J'ai reconnu par expérience que la trempe en paquet étoit la meilleure, & celle qui donnoit la plus grande dureté; cette trempe ſe fait en enveloppant de ſuie de cheminée, broyée avec de l'urine, les pieces que l'on veut tremper; on enveloppe le tout dans une boîte de tôle mince; on fait

chauffer ce paquet, en le mettant dans du charbon moitié allumé ; on expoſe à l'air le charbon, lequel en s'allumant par degrés, fait chauffer inſenſiblement le paquet, enſorte que les ſels contenus dans la ſuie, s'inſinuent dans les pores intérieurs ; lorſque le paquet eſt bien rouge, & par conſéquent le charbon bien allumé, on ôte très-promptement le paquet, & l'on jette dans l'eau froide la ſuie avec les pieces qu'elle enveloppe.

1552. Une choſe très-eſſentielle à laquelle il faut avoir égard, c'eſt de proportionner la longueur du couteau & ſon appui ſur la rainure à la peſanteur du corps que porte le pendule.

1553. Si, par exemple, on a un couteau dont l'étendue des parties qui poſent ſur la rainure, ſoit de ſix lignes, & deſtiné à ſuſpenſion, qui ſupporte une lentille de 10 livres : ſi enſuite on veut faire une ſuſpenſion pour porter une lentille de 30 livres, il faudra alonger le couteau & ſon appui dans le rapport de 10 à 30 ; de cette maniere, les frottements de la ſuſpenſion qui porte 30 livres, ne ſeront pas plus grands que les frottements de la ſuſpenſion qui porte 10 liv. en ſuppoſant que chaque partie du couteau porte exactement ſur la rainure ; car dans ce cas chaque partie ne portera que le même poids porté par les parties ſemblables de l'autre ſuſpenſion.

1554. Il faut que la rainure & le couteau ſoient tellement exécutés, que lorſque le pendule ſe meut, chaque partie du couteau s'applique exactement ſur la rainure, enſorte que toutes ces parties égales ſupportent le même poids, ce qui diminuera conſidérablement la réſiſtance au mouvement ; pour parvenir à cette extrême préciſion, il faut commencer (lorſque le couteau eſt trempé, ainſi que la piece qui le ſupporte) par dreſſer le couteau, de maniere que l'extrémité de l'angle poſe parfaitement ſur une regle d'acier bien dreſſée & adoucie ; pour dreſſer de la ſorte le couteau, on ſe ſervira d'une lime d'acier non trempée, dont on a ôté la taille, qui ſoit parfaitement plate, & dreſſée avec une regle ; on uſera les côtés du couteau avec cette lime, & de la *pierre à l'huile* broyée avec de l'huile ; ces côtés ainſi dreſſés, on paſſera légérement

la même lime ſur l'angle, en arrondiſſant foiblement cet angle qui doit être à peu-près de 45 degrés, ou très-approchant; on terminera les côtés & l'angle du couteau en ſe ſervant de cette lime & de la potée d'étain; ce qui le polira & dreſſera encore mieux.

1555. La rainure dans laquelle ſe meut le couteau, doit être formée par un cylindre d'acier: avant que de tremper ce ſupport, on aura préparé la rainure avec une lime ronde d'environ 2 lignes de diametre; & lorſqu'il ſera trempé, on terminera la gouttiere ou rainure.

1556. Pour y parvenir le mieux qu'il eſt poſſible, on tournera une branche d'acier trempé, de ſorte qu'elle ait 3 lignes de diametre dans toute ſa longueur, c'eſt-à-dire, qu'elle ſoit parfaitement cylindrique; on la laiſſera montée ſur le tour, & l'on appliquera la rainure ſur le cylindre, en mettant de la pierre à huile pour dreſſer au moyen du mouvement du cylindre que l'on roule avec un archet.

1557. Pour éviter que ce cylindre ne fléchiſſe par le poids du ſupport & par la preſſion de la main, il faut prendre une piece de même largeur que le ſupport, &, pour le mieux, un pareil ſupport que l'on placera ſous le cylindre; on preſſera les deux ſupports l'un contre l'autre, & le cylindre tournera entre deux ſans pouvoir ſe courber; de cette maniere la rainure ſe dreſſera le mieux poſſible: on continuera de rouler le cylindre, juſqu'à ce que la rainure ſoit tellement dreſſée, qu'en appliquant le couteau deſſus, celui-ci porte dans toute ſa longueur; cela étant, pour terminer la rainure on ôtera la pierre à l'huile, & on mettra en place, de la potée d'étain qui achevera de la dreſſer & polir.

CHAPITRE XII.

Des réſiſtances qu'éprouve un Pendule qui ſe meut dans l'air.

I. PROPOSITION.

1558. LORSQU'ON écarte un pendule de ſon repos; & qu'enſuite on l'abandonne à lui-même, on lui donne une force pour ſe mouvoir, qui eſt égale à la ſomme des efforts que l'on a employés pour lui faire parcourir l'arc qu'on lui fait décrire.

1559. Ainſi plus un pendule ſera peſant, & plus la ſomme des efforts requis, pour lui faire parcourir un arc donné, ſera grande, & par conſéquent plus auſſi la force que le corps aura pour ſe mouvoir, ſera grande.

II. PROPOSITION.

1560. SI on fait mouvoir une lentille *A*, de maniere que ſon tranchant ſoit dirigé dans le ſens de ſon mouvement, la durée de ce mouvement ſera plus grande que ſi on la faiſoit mouvoir, de ſorte qu'elle préſentât ſon plan, ce qui eſt évident; car nous ſuppoſons que dans l'un & l'autre cas on a écarté le pendule de la même quantité; ainſi, ſelon la propoſition 1re, la ſomme des efforts pour la mettre en mouvement ſera égale, puiſque c'eſt le même poids que l'on met en mouvement; elle aura donc la même force pour ſe mouvoir; mais comme la lentille qui préſente ſon plan, déplace une plus grande quantité d'air, elle perd à chaque vibration une plus grande quantité de ſon mouvement; lorſqu'elle ſe meut ſelon ſon plan, elle vibre donc moins de temps que lorſqu'elle ſe meut ſelon ſon angle.

1561.

1561. La même choſe arrivera, ſi on fait décrire les mêmes arcs à une lentille & à une boule de même peſanteur, ainſi que nous le verrons ci-après par l'expérience; car ce n'eſt pas le corps qui a le moins de ſurface qui ſe meut plus long-temps, mais celui qui, à poids égal & même eſpace parcouru, déplace une moindre quantité d'air: or l'air déplacé par la boule eſt repréſenté par la ſurface qui réſulteroit, ſi on coupoit la boule en deux également; cette ſurface eſt un cercle qui a pour diametre celui de la boule; c'eſt donc un grand cercle de cette boule; & l'air déplacé par la lentille eſt repréſenté par la ſurface qui réſulteroit, ſi on coupoit la lentille par ſon petit diametre, ce qui fait la figure repréſentée, (*Planche XXII, fig. 6*): or la ſurface de la ſection de la lentille eſt moindre que celle de la ſphere, elle déplace donc une moindre quantité d'air; le mouvement de la lentille doit donc ſe conſerver plus long-temps: en ſuivant le même raiſonnement, on verra que plus la lentille ſera mince, en conſervant le même poids, & moins la ſurface de la ſection ſera grande; ainſi, plus une lentille ſera mince, & plus la durée de ſon mouvement ſera grande. Nous vérifierons ces propoſitions par l'expérience.

III. PROPOSITION.

1562. SI l'on fait deux lentilles ſemblables *A* & *B*, mais de grandeurs inégales, & qu'on les mette en mouvement, en leur faiſant décrire les mêmes arcs, la durée du mouvement de la lentille *A* (que je ſuppoſe plus petite que *B*) ſera moindre que la durée du mouvement de la lentille *B*.

1563. Car il eſt démontré, 1°, que les ſurfaces de deux corps ſemblables, ſont entr'elles comme les quarrés des diametres, ou de toute autre dimenſion homologue priſe dans chacun; ſi donc le petit diametre, c'eſt-à-dire, l'épaiſſeur de la lentille *A* eſt 10 fois plus petit que le diametre de la lentille *B*, la ſurface de la ſection de la lentille *A* ſera à la ſurface de la ſection de la lentille *B*, comme le quarré de 1 eſt

au quarré de 10, c'eſt-à-dire, comme 1 eſt à 100.

1564. 2°, On démontre que les ſolidités ou quantités de matiere de deux corps ſemblables, ſont entr'elles comme les cubes de leurs dimenſions de même nom: ſi donc la lentille *A* peſe une livre, ſon poids ſera à celui de la lentille *B*, comme le cube de 1 qui eſt 1, eſt au cube de 10 qui eſt 1000, c'eſt-à-dire, que la lentille *B* ſera mille fois plus peſante que celle *B*.

1565. Or (propoſition 1ere) plus la lentille ſera peſante, & plus l'effort requis pour lui faire décrire un arc donné ſera grand; mais plus auſſi ſa force ſera grande; ainſi la force que l'on a donnée à la lentille *A*, en lui faiſant décrire un arc de 10 degrés, eſt à la force que l'on a donnée à la lentille *B*, pour lui faire parcourir le même arc, comme la peſanteur de la lentille *A* eſt à la peſanteur de la lentille *B*, c'eſt-à-dire, comme 1 eſt à 1000; mais on a vu que les réſiſtances de l'air qu'éprouve la lentille *B* eſt à celle de *A*, comme 1 eſt à 100; ainſi la lentille *B* a dix fois plus de force pour vaincre les réſiſtances de l'air que n'a la lentille *A*: la durée du mouvement de la lentille *B* ſera donc 10 fois plus grande que celle de la lentille *A*, en ſuppoſant que les frottements de la ſuſpenſion ſont les mêmes. Cette propoſition démontre l'avantage d'employer une lentille peſante, en faiſant abſtraction des obſtacles que cauſe la matiere dont la verge du pendule & la ſuſpenſion ſont compoſées; mais ces obſtacles, qui ſont en oppoſition à la théorie, ne permettent pas de faire des lentilles fort peſantes, ainſi que nous le ferons voir ci-après. Paſſons maintenant aux expériences que j'ai faites ſur les réſiſtances de l'air.

CHAPITRE XIII.

Des Expériences faites ſur le Pendule libre.

DÉFINITION.

1566. J'APPELLE *Pendule libre*, celui dont les oſcillations ſont indépendantes du rouage, & ſe font par la ſimple impulſion que l'on a donnée en écartant ce pendule de ſon repos; le pendule libre ne differe du pendule ſimple, que parce que ſa verge eſt peſante & la lentille étendue.

1567. J'ai fait faire une boule ou ſphere qui peſe 21 liv. $\frac{1}{4}$, de même que la lentille du pendule d'expérience, dont on a parlé ci-deſſus (1544); le diametre de la ſphere eſt de 4 pouces 4 lig. la lentille a 7 pouces de diametre, ſon épaiſſeur eſt de 27 lignes; cette boule s'adapte à la même verge que la lentille; on les ſuſpend alternativement à la même ſuſpenſion, en leur faiſant décrire les mêmes arcs; & pour que les pendules ſoient toujours de même longueur, on regle leurs vibrations ſur celles d'une horloge à ſeconde: on ne doit faire ces expériences que lorſque le barometre reſte à la même hauteur.

I. EXPÉRIENCE. (*Planche XXII. fig.* 1).

1568. J'AI ſuſpendu la ſphere à la ſuſpenſion à couteau; lui ayant fait décrire des arcs de 10 degrés, ils ont été réduits à un degré en 13 heures 22 minutes.

II. EXPÉRIENCE.

1569. AYANT ſuſpendu la lentille, & fait décrire les arcs de 10 degrés, ils ont été réduits à un degré en 14 heures 52 minutes; ainſi la lentille de même poids que la ſphere,

décrivant les mêmes arcs, conſerve ſon mouvement pendant 90 minutes de plus que la ſphere.

1570. Le raiſonnement & l'expérience prouvent donc également la préférence qu'on doit donner à une lentille ſur une ſphere, & à une lentille mince ſur une plus épaiſſe; car ayant adapté ſur le même pendule une lentille qui peſe 21 liv. $\frac{1}{4}$, comme la lentille d'obſervation, mais dont le diametre étoit de 8 pouces, & l'épaiſſeur d'un pouce 10 lignes, la durée du mouvement de cette lentille a été plus grande que la durée du mouvement de la lentille précédente.

REMARQUE.

1571. APRE'S avoir répété pluſieurs fois les expériences ſur la réſiſtance de l'air, je m'apperçus que la lentille ne demeuroit plus le même temps en mouvement, quoique le barometre fût à la même hauteur; ainſi cette différence qui augmentoit à chaque obſervation, ne pouvoit être cauſée que par la ſuſpenſion dont le frottement s'étoit accru par quelque dérangement du couteau : en effet, je démontai la ſuſpenſion, & trouvai que le couteau s'étoit un peu *égrené*, & la rainure marquée en deux endroits; je dreſſai de nouveau la rainure & le couteau, & j'employai tout l'art poſſible, pour faire que chaque point du couteau portât exactement ſur la rainure : je remis le pendule en mouvement, en lui faiſant décrire des arcs de 10 degrés qui ne furent réduits à $\frac{1}{16}$ de degré, qu'après avoir vibré pendant 42 heures, temps beaucoup plus grand que celui avec lequel il s'étoit mû dans mes premieres obſervations; enfin je refis un couteau, en employant le meilleur acier d'Angleterre, je l'ai terminé avec beaucoup de ſoin; & ayant fait décrire 10 degrés au même pendule, il n'a été reduit à $\frac{1}{16}$ de degré, qu'après avoir vibré pendant 2 jours.

1572. On voit par-là, combien il eſt eſſentiel de faire une ſuſpenſion avec les ſoins que nous avons preſcrits (1549 & ſuiv.) car les frottements de la ſuſpenſion détruiſent au moins une auſſi grande quantité du mouvement du pendule, que le fait la réſiſtance de l'air.

1573. Il faut encore obſerver, par rapport à ce changement arrivé à la ſuſpenſion, qu'il n'a pas ſeulement été cauſé par le défaut de l'acier, mais que le grand nombre de fois que j'ai répété mes expériences, en faiſant décrire des grands arcs avec des lentilles peſantes, a néceſſairement cauſé à la ſuſpenſion de grands frottements qui ont aidé à la détruire; car non-ſeulement la ſuſpenſion éprouve d'autant plus de frottement qu'elle eſt chargée d'un plus grand poids, & qu'elle parcourt plus d'eſpace; mais il arrive que plus le pendule décrit de grands arcs, & plus la force centrifuge, qui tend à écarter la lentille de ſon centre, cauſe une grande réſiſtance à ce centre: ainſi les frottements de la ſuſpenſion augmentent dans un plus grand rapport que l'augmentation d'eſpace parcouru: les petits arcs ſont donc préférables par cette raiſon.

1574. Ayant mis la ſuſpenſion du pendule d'obſervation dans le meilleur état poſſible, pour qu'elle reſtât conſtamment la même, malgré le mouvement du pendule, j'ai fait un aſſez grand nombre d'expériences, dont nous rapporterons le précis: ces expériences ſerviront à déterminer en quel rapport les réſiſtances de l'air augmentent, & elles me ſerviront ſur-tout à faire le calcul des forces requiſes, pour entretenir le mouvement d'un pendule, lorſqu'il décrit des grands ou petits arcs, &c.

1575. J'ai diviſé le bord du limbe *HI* (*Pl. XXII. fig.* 1) en 8emes de parties de degrés, c'eſt-à-dire, chaque degré en 8 parties, afin de pouvoir meſurer la diminution des arcs de 7 minutes $\frac{1}{2}$, en 7 minutes $\frac{1}{2}$ de degrés.

III. EXPÉRIENCE.

1576. Ayant fait décrire 10 degrés au pendule avec la lentille d'obſervation:

Les arcs de 10 degrés ont été réduits à 9 deg. 45 min. en 9 min. de tems.

9 . . . 45 min. . . . 9 . . 30 . . . 9
9 . . . 30. . . . . 9 . . 15 . . . 9
9 . . . 15. . . . . 9 . . 0 . . 10

Les arcs de 10 deg. ont été réduits à 9 deg. 0 min. en 37 min.

Les arcs de 9 degrés ont été réduits à 8 deg. 45 min. en 10 min. de tems.

8 . . . 45 min. . . 8 . . 30 . . . 11
8 . . . 30 . . . . 8 . . 15 . . . 11
8 . . . 15 . . . . 8 . . 0 . . . 12

Les arcs de 9 degrés ont été réduits à 8 deg. 0 min. en 44 min.

8 . . . 0 min. . . 7 . . 45 . . . 12 min.
7 . . . 45 . . . . 7 . . 30 . . . 13
7 . . . 30 . . . . 7 . . 15 . . . 13
7 . . . 15 . . . . 7 . . 0 . . . 14

Les arcs de 8 degrés ont été réduits à 7 deg. 0 min. en 52 min.

7 . . . 0 min. . . . 6 . . 45 . . . 14
6 . . . 45 . . . . 6 . . 30 . . . 15
6 . . . 30 . . . . 6 . . 15 . . . 16
6 . . . 15 . . . . 6 . . 0 . . . 17

Les arcs de 7 degrés ont été réduits à 6 deg. 0 min. en 62 min.

6 . . . 0 min. . . . 5 . . 45 . . . 17
5 . . . 45 . . . . 5 . . 30 . . . 18
5 . . . 30 . . . . 5 . . 15 . . . 19
5 . . . 15 . . . . 5 . . 0 . . . 21

Les arcs de 6 degrés ont été réduits à 5 deg. 0 min. en 75 min.

5 . . . 0 min. . . . 4 . . . 45 . . . 23
4 . . . 45 . . . . 4 . . . 30 . . . 24
4 . . . 30 . . . . 4 . . . 15 . . . 25
4 . . . 15 . . . . 4 . . . 0 . . . 27

Les arcs de 5 degrés ont été réduits à 4 deg. 0 min. en 99 min.

4 . . 0 min. . . . 3 . . . 45 . . . 29
3 . . . 45 . . . . 3 . . . 30 . . . 31
3 . . . 30 . . . . 3 . . . 15 . . . 35
3 . . . 15 . . . . 3 . . . 0 . . . 39

Les arcs de 4 deg. ont été réduits à 3 deg. 0 min. en 134 min.

3 . . . 0 min. . . . 2 . . 45 . . . 43
2 . . . 45 . . . . 2 . . 30 . . . 44
2 . . . 30 . . . . 2 . . 15 . . . 51
2 . . . 15 . . . . 2 . . 0 . . . 60

Les arcs de 3 deg. ont été réduits à 2 deg. 0 min. en 198 min.

Les arcs de 2 deg. 0 m ont été réd. à 1 degré 45 min. en 69 min. de tems.

1 . . 45 . . . . . 1 . . 30 . . . 73
1 . . 30 . . . . . 1 . . 15 . . . 82
1 . . 15 . . . . . 1 . . 0 . . 111

Les arcs de 2 degrés ont été réduits à 1 deg. 0 min. en 335 min.

1 . . 0 min. . . . 0 . . 45 . . . 142
0 . . 45 . . . . . 0 . . 30 . . . 228
0 . . 30 . . . . . 0 . . 15 . . . 380

Les arcs de 1 degré ont été réduits à 0 deg. 15 min. en 750 minutes.

1577. Ainſi les arcs de 10 degrés ont été réduits à un quart de degré en 1786 minutes de temps, c'eſt-à-dire, en 29 heures 46 minutes.

1578. Les arcs de 15 minutes de degrés ont été réduits à 7 min. $\frac{1}{2}$, en 8 heures de temps.

REMARQUE.

1579. Cette expérience faite avec toute l'attention poſſible, peut ſervir à faire voir les effets de la réſiſtance de l'air : mais nous nous en ſervirons uniquement ici pour calculer les forces requiſes, pour entretenir un pendule en mouvement, & en conclure les arcs les plus propres pour rendre les oſcillations iſochrones, & pour en déduire le meilleur régulateur.

1580. Avant que d'entrer dans ce calcul, nous allons rapporter quelques expériences que j'ai faites ſur le pendule libre dont la lentille eſt légere, & ſur le pendule à demi-ſecondes.

1581. Les expériences que j'ai rapportées ci-devant, ne m'ayant pas paru ſuffiſantes pour fixer une théorie expérimentale ſur les pendules libres, j'ai voulu obſerver ce qui ſe paſſe lorſqu'une lentille plus légere eſt appliquée à la même ſuſpenſion.

1582. J'ai donc pris une lentille qui a 5 pouces 7 lignes de diametre, 16 lignes d'épaiſſeur, & peſe 7 liv. 5 onces, & bat les ſecondes comme la précédente ; toute la différence entre ces deux lentilles conſiſte donc uniquement dans les poids & les dimenſions de ces lentilles, la ſuſpenſion étant la même.

IV. EXPÉRIENCE.

Les arcs de 10 degrés ont été réduits à 9 deg. 45 min. en 5 min. de tems.

9 . . 45 min. . . . 9 . . 30 . . . 5 ½
9 . . 30 . . . . . 9 . . 15 . . . 6
9 . . 15 . . . . . 9 . . 0 . . . 6

Les arcs de 10 degrés ont été réduits à 9 deg. . . . en 22 ½ min.

9 . . 0 min. . . . 8 . . 45 . . . 6
8 . . 45 . . . . . 8 . . 30 . . . 6
8 . . 30 . . . . . 8 . . 15 . . . 7
8 . . 15 . . . . . 8 . . 0 . . . 7

Les arcs de 9 degrés ont été réduits à 8 deg. . . . en 26 min.

8 . . 0 min. . . . 7 . . 45 . . 8
7 . . 45 . . . . . 7 . . 30 . . 8
7 . . 30 . . . . . 7 . . 15 . . 8
7 . . 15 . . . . . 7 . . 0 . . 8

Les arcs de 8 degrés ont été réduits à 7 deg. . . . en 32 min.

7 . . 0 min. . . . 6 . . 45 . . 9
6 . . 45 . . . . . 6 . . 30 . . 9
6 . . 30 . . . . . 6 . . 15 . . 9
6 . . 15 . . . . . 6 . . 0 . . 10

Les arcs de 7 degrés ont été réduits à 6 deg. . . . en 37 min.

6 . . 0 min. . . . 5 . . 45 . . 11
5 . . 45 . . . . . 5 . . 30 . . 11
5 . . 30 . . . . . 5 . . 15 . . 12
5 . . 15 . . . . . 5 . . 0 . . 13

Les arcs de 6 degrés ont été réduits à 5 deg. . . . en 47 min.

5 . . 0 min. . . . 4 . . 45 . . 14
4 . . 45 . . . . . 4 . . 30 . . 15
4 . . 30 . . . . . 4 . . 15 . . 16
4 . . 15 . . . . . 4 . . 0 . . 16

Les arcs de 5 degrés ont été réduits à 4 deg. . . . en 61 min.

4 . . 0 min. . . . 3 . . 45 . . 17
3 . . 45 . . . . . 3 . . 30 . . 18 ½
3 . . 30 . . . . . 3 . . 15 . . 20
3 . . 15 . . . . . 3 . . 0 . . 22 ½

Les arcs de 4 degrés ont été réduits à 3 deg. . . . en 78 min.

Les

Les arcs de 3 deg. 0 m ont été réd. à 2 deg. 45 min. en 24 min. de tems.
2 . . 45 . . . . . 2 . . 30 . . 26
2 . . 30 . . . . . 2 . . 15 . . 30
2 . . 15 . . . . . 2 . . 0 . . 33
Les arcs de 3 degrés ont été réduits à 2 deg. . . en 113 min.
2 . . 0 min. . . . 1 . . 45 min. . 35
1 . . 45 . . . . . 1 . . 30 . . . 45
1 . . 30 . . . . . 1 . . 15 . . . 60
1 . . 15 . . . . . 1 . . 0 . . . 70
Les arcs de 2 degrés ont été réduits à 1 deg. . . en 210 min.
1 . . 0 min. . . . 0 . . 45 min. 90
0 . . 45 . . . . . 0 . . 30 . . 120
0 . . 30 . . . . . 0 . . 15 . . 190
Les arcs de 1 degré ont été réduits à . 0 . . 15 min. en 400 min.

1583. Ainſi 10 degrés = 600 min. ont été réduits à 15 minutes en 1026 min. $\frac{1}{2}$ de temps qui font 17 heures 6 min. $\frac{1}{2}$.

1584. Les arcs de 15 minutes ont été réduits à 7 min. $\frac{1}{2}$ en 240 minutes de temps.

1585. Pour déterminer l'avantage qu'il y a d'employer de longs ou courts pendules, j'ai fait quelques expériences que je dois rapporter. Pour cet effet j'ai adapté la lentille qui a ſervi à l'expérience précédente à une verge propre à battre les demi-ſecondes, ou plutôt j'ai coupé la verge du pendule à ſecondes en trois parties, qui réunies forment le pendule à ſecondes, & dont celle qui tient à la lentille ſert de verge au pendule à demi-ſecondes.

1586. J'ai ſuſpendu ce pendule à la même ſuſpenſion, & fait un limbe diviſé en 10 degrés du cercle, dont le rayon eſt la longueur de la verge du pendule.

V. EXPÉRIENCE.

Les arcs de 10 degrés ont été réduits à 9 deg. 45 min. en 5 min. de tems.
9 . . . 45 min. . . . 9 . . 30 . . . 5
9 . . . 30 . . . . . 9 . . 15 . . . 6
9 . . . 15 . . . . . 9 . . 0 . . . 6
Les arcs de 10 degrés ont été réduits à 9 deg. . . en 22 min.

Les arcs de 9 deg. 0 m ont été réd. à 8 deg. 45 m en 6 min. de tems.

8 . .	45	8 . .	30 . . . 6
8 . .	30	8 . .	15 . . . 7
8 . .	15	8 . .	0 . . . 7

Les arcs de 9 degrés ont été réduits à 8 deg. . . en 26 min.

8 . .	0 min.	7 . .	45 min. 7 ½
7 . .	45	7 . .	30 . . . 7 ½
7 . .	30	7 . .	15 . . . 8
7 . .	15	7 . .	0 . . . 8

Les arcs de 8 degrés ont été réduits à 7 deg. . . en 31 min.

7 . .	0 min.	6 . .	45 . . 8 ½
6 . .	45	6 . .	30 . . 8 ½
6 . .	30	6 . .	15 . . . 9
6 . .	15	6 . .	0 . . 10

Les arcs de 7 degrés ont été réduits à 6 deg. . . en 36 min.

6 . .	0 min.	5 . .	45 min. 10 ½
5 . .	45	5 . .	30 . . 10 ½
5 . .	30	5 . .	15 . . 11
5 . .	15	5 . .	0 . . 11

Les arcs de 6 degrés ont été réduits à 5 deg. . . en 43 min.

5 . .	0 min.	4 . .	45 min. 11 ½
4 . .	45	4 . .	30 . . 11 ½
4 . .	30	4 . .	15 . . 12
4 . .	15	4 . .	0 . . 12

Les arcs de 5 degrés ont été réduits à 4 deg. . . . en 47 min.

4 . .	0 min.	3 . .	45 min. 14
3 . .	45	3 . .	30 . . 16
3 . .	30	3 . .	15 . . 17
3 . .	15	3 . .	0 . . 18

Les arcs de 4 degrés ont été réduits à 3 deg. . . . en 65 min.

3 . .	0 min.	2 . .	45 min. 20
2 . .	45	2 . .	30 . . 20
2 . .	30	2 . .	15 . . 22
2 . .	15	2 . .	0 . . 23

Les arcs de 3 degrés ont été réduits à 2 deg. . . . en 85 min.

Les arcs de 2 deg. 0^{m} ont été réd. à 1 deg. 45 min. en 30 min. de tems.

1 . . 45 . . . . . 1 . . 30 . . . 40
1 . . 30 . . . . . 1 . . 15 . . . 50
1 . . 15 . . . . . 1 . . 0 . . . 50

Les arcs de 2 degrés ont été réduits à 1 deg. . . en 170 min.

1 . . 0 min. . . . . 0 . . 45 min. 80
0 . . 45 . . . . . 0 . . 30 . . 110
0 . . 30 . . . . . 0 . . 15 . . 150

Les arcs de 1 degrés ont été réduits à 0 deg. 15 min. en 340 minutes.

1587. Les arcs de 10 degrés ou 600 minutes, ont été réduits à 15 minutes en 866 minutes de temps, c'eſt-à-dire, en 14 heures 26 minutes.

I. REMARQUE.

1588. LA même lentille adaptée au pendule à ſecondes, a vibré pendent 1026 minutes $\frac{1}{2}$ ſelon l'expérience (1583), au lieu qu'étant adaptée au pendule à demi-ſecondes, elle eſt reſtée en vibrations de 160 minutes $\frac{1}{2}$ de moins, en partant des mêmes arcs; la raiſon de cette différence vient principalement de ce que le pendule à demi-ſecondes qui parcourt les mêmes arcs; que celui à ſecondes, s'éleve 4 fois moins au-deſſus de ſon repos que ne fait celui à ſecondes, c'eſt-à-dire, que ſon ſinus verſe eſt 4 fois plus petit; & par cette même raiſon la vîteſſe du pendule à ſecondes eſt double de celle du pendule à demi-ſecondes, ainſi ſa quantité de mouvement eſt 4 fois plus grande, il a par conſéquent 4 fois plus de force pour ſurmonter la réſiſtance de l'air, c'eſt ce que j'ai vérifié; car en faiſant décrire au pendule à demi-ſecondes des arcs de 20 degrés, ils ont été réduits à 10 degrés en 150 minutes, ou très-peu-près : ainſi il arrive que ſi un pendule à demi-ſecondes décrit des arcs doubles, c'eſt-à-dire, qu'il ait la même vîteſſe que le pendule à ſecondes avec la même lentille, (& par conſéquent la même force de mouvement), il vibre preſque auſſi long-temps que le pendule à ſecondes, de ſorte que la réſiſtance de la ſuſpenſion n'eſt pas ſi grande que je l'avois

cru d'abord, ce qui eſt dû à la légéreté de la lentille; car le frottement de la ſuſpenſion étant double de celui du pendule à ſecondes, il n'a cependant diminué que de 10 minutes ſur 1026, la durée de la marche de celui à demi-ſecondes.

II. REMARQUE.

1589. NOUS obſerverons ici le peu d'avantage que donne une lentille trop peſante; car ayant fait décrire au pendule aſtronomique, dont nous parlerons Chap. 39 (ſa lentille peſe 63 liv.) des arcs de 15 minutes, ils ont été réduits à 7 min. $\frac{1}{2}$ en 8 heures de temps, c'eſt-à-dire, dans le même temps que le pendule de 21 liv. a employé depuis les arcs de 15 minutes à 7 min. $\frac{1}{2}$; ſa lentille peſante n'a donc produit aucune différence dans ces petits arcs; il eſt vrai que dans les grands arcs cette différence eſt plus ſenſible; mais comme les lentilles peſantes ne ſont pas faites pour décrire des grands arcs, ce qui détruiroit promptement la ſuſpenſion, & par la même raiſon l'iſochroniſme des vibrations, on ne doit pas mettre cet avantage en ligne de compte; ce n'eſt pas par-là ſeulement qu'une lentille trop peſante eſt défectueuſe.

1590. ON voit que malgré les principes établis (1565), une lentille peſante ne conſerve pas plus long-temps ſon mouvement, que celle dont la peſanteur eſt moyenne, comme celle de 21 liv. ou au plus de 30 liv. Nous expliquerons ici la cauſe de cet effet; nous avons dit, en parlant de la ſuſpenſion du pendule (1553), qu'il falloit augmenter l'étendue de la ſuſpenſion à proportion de l'augmentation du poids qu'elle doit porter, & nous avons ſuppoſé que chaque point du couteau s'applique exactement, & eſt porté par un point de la rainure; mais comme cette ſuppoſition ne peut preſque jamais exiſter, & que c'eſt le comble de la difficulté, malgré les ſoins extrêmes que l'on prendra, il arrivera toujours que les couteaux ne porteront que ſur quelques points, enſorte que ces points ſeront chargés de tout le poids de la lentille, ce qui les affaiſſera, & détruira la liberté du mouvement; on ne peut donc vaincre

cette difficulté, à moins que l'on ne ſe ſerve d'une matiere infiniment plus dure que l'acier, & qui ſoit moins poreuſe; il faut même ſuppoſer que l'on pourra faire un couteau de cette matiere, ſans quoi on ne gagneroit rien; l'extrême difficulté que j'ai voulu vaincre pour avoir une lentille peſante, eſt donc en pure perte pour la ſuſpenſion; nous ferons voir que ce n'eſt pas par-là ſeulement que le grand poids d'une lentille eſt défectueux.

CHAPITRE XIV.

De la force requiſe pour entretenir le mouvement d'un Pendule, ſelon que les arcs qu'il décrit ſont grands ou petits : Comparaiſon de cette force avec la quantité de mouvement du pendule dans ces différents cas.

PROBLEME I.

Trouver la force qui ſeroit requiſe pour entretenir le mouvement d'un Pendule à ſecondes, dont la lentille peſe 21 *liv.* $\frac{1}{4}$ *& décriroit* 10 *deg.*

1591. SELON l'expérience rapportée, (1576), on voit qu'un tel pendule qui décrit 10 degrés, eſt réduit à 9 deg. 45 min. en 9 min. de temps; ainſi, pour entretenir le mouvement de ce pendule, il faut élever à chaque 9 min. de temps la lentille depuis 9 deg. 45 min. à 10 deg. Pour trouver la quantité dont la lentille eſt plus élevée au-deſſus de ſon centre de repos, lorſqu'elle décrit 10 degrés, que lorſqu'elle décrit 9 deg. 45 min. il faut ſouſtraire le ſinus verſe de 9 deg. 45 min. du ſinus verſe de 10 degrés, l'excès marquera

combien la lentille eſt moins élevée en décrivant 9 degrés 45 minutes. On doit ſavoir, que pour avoir le ſinus verſe de 10 deg. il faut ôter du rayon le ſinus de 80 degrés: & pour avoir le ſinus verſe de 9 deg. 45 min. il faut de même ôter du rayon le ſinus de 80 deg. 15 minutes. Par exemple, le ſinus de 80 deg. (complément de 10 deg.) eſt 98480; l'ôtant du ſinus total 100000, il reſte 1520 ſinus verſe de 10 degrés. Le ſinus de 80 deg. 15 min. ou le coſinus de 9 deg. 45 min. eſt 98555; l'ayant ſouſtrait du rayon, on a 1445 ſinus verſe de 9 deg. 45 min. cela poſé de 1520 ſinus verſe de 10 degrés, ôtez 1445 ſinus verſe de 9 deg. 45 min. reſte 75: ainſi la quantité cherchée eſt $\frac{75}{100000}$ de la longueur du pendule; c'eſt-à-dire, que ſi le pendule étoit diviſé en 100000 parties, la lentille devroit être remontée de 75 de ces parties à chaque 9 min. de temps.

1592. Il faut maintenant convertir ce rapport en parties d'une meſure connue. Le pendule à ſecondes eſt de 3 pieds 8 lig. $\frac{17}{100}$ (1523); c'eſt-à-dire, de 44057 centiemes de lignes: ainſi, pour trouver de combien de centiemes de lignes il faudroit remonter la lentille, on fera la proportion:

100000 : 75 :: 44057

		75
		220285
3304275	100000	308399
304275	33	3304275

On trouve pour quotient 33, qui exprime $\frac{33}{100}$ de lignes, ou environ $\frac{1}{3}$ de lig. quantité dont la lentille eſt moins élevée lorſqu'elle décrit 9 deg. 45 min. que lorſqu'elle décrit 10 degrés.

1593. C'eſt donc un poids de 21 liv. avec $\frac{1}{3}$ de ligne de deſcente qu'il faut employer à chaque 9 minutes. Réduiſant 21 liv. en grains, on a 193536. Réduiſant auſſi 9 minutes de temps en ſecondes, on a 540, qui étant diviſé par 193536, donne pour quotient la force qu'il faudra reſtituer au pendule à chaque ſeconde pour l'entretenir en mouvement

en parcourant 10 degrés. 1935,36 $\left\{\begin{array}{l}540\\358\frac{216}{540}\end{array}\right.$
3153
4536
216

1594. C'eſt donc 358 grains $\frac{2}{7}$, avec une deſcente de $\frac{1}{3}$ de ligne qu'il faut reſtituer au pendule à chaque ſeconde, pour lui faire décrire des arcs de 10 degrés.

1595. Si on adaptoit auprès de ce pendule un rouage qui eût une roue d'échappement de 30 dents, cette roue feroit un tour par minute : or ſi on faiſoit la circonférence de cette roue de 20 lignes, elle parcourroit à chaque battement du pendule $\frac{1}{3}$ de ligne ; ainſi il faudroit appliquer à la circonférence de cette roue une force de plus de 358 grains $\frac{2}{7}$, ſans compter la perte de la force de la roue ſur la piece d'échappement; ſi on faiſoit la roue de 40 lignes de circonférence, elle parcourroit 2 fois plus d'eſpace, ainſi la force qu'elle exigeroit à la circonférence, devroit être deux fois plus petite.

II. PROBLEME.

Trouver la force requiſe pour entretenir le mouvement du même Pendule, lorſqu'il décrit des arcs d'un degré.

1596. IL FAUT ſuivre la même méthode de calcul, en remarquant que les arcs d'un degré ont été réduits à 0deg. 45 minutes en 142 min. de temps (1576).

1597. Le calcul fait, on trouve qu'il faut un poids d'environ 23 grains, qui ait $\frac{1}{100}$ de lig. de deſcente ; c'eſt-à-dire, à peu-près $\frac{1}{3}$ de ligne de deſcente avec un poids de 2 grains $\frac{3}{10}$

REMARQUE.

1598. ON voit par-là combien eſt grande la différence de force requiſe, pour entretenir le mouvement du même pendule qui décrit de plus grands ou plus petits arcs, puiſque lorſqu'il décrit 10 degrés, il faut 358 grains $\frac{2}{7}$, & $\frac{1}{3}$ de lig.

de deſcente ; & lorſqu'il décrit un degré, il ne faut que deux grains $\frac{1}{10}$ avec la même deſcente ; c'eſt-à-dire, qu'il faut $157\frac{9}{13}$ fois plus de force pour entretenir le pendule qui décrit 10 deg. qu'il n'en faut pour entretenir le même pendule lorſqu'il décrit un degré.

1599. Il ſuit delà que, ſi l'on vouloit qu'un pendule qui décrit des arcs d'un degré, fût mu par la même force qui ſeroit requiſe pour entretenir les arcs de 10 degrés, il faudroit que la lentille fût $157\frac{9}{13}$ fois plus peſante.

1600. Il ſuit encore delà qu'il ne faut pas ſimplement augmenter la peſanteur de la lentille en raiſon inverſe du quarré des arcs qu'elle parcourt, mais dans un plus grand rapport ; car, ſelon ce principe, pour qu'une lentille qui décrit des arcs d'un degré exigeât la même force pour en entretenir le mouvement, que lorſqu'elle en décrit 10, il faudroit que le poids de la lentille, lorſqu'elle décrit un degré, fût à celui qu'elle a, lorſqu'elle en décrit 10, comme 100 eſt à 1 : or ſelon le calcul que nous venons de faire d'après nos expériences, elle doit être comme $157\frac{9}{13}$ eſt à 1, ſans quoi le pendule ne ſeroit plus le régulateur du rouage ; car on voit qu'un tel pendule décrivant des petits arcs, deſcend par un plan infiniment peu incliné, & que ſa force de mouvement eſt très-petite : il ne faut donc pas s'imaginer qu'il ſuffiſe d'adapter à une machine un pendule long & peſant ; il faut de plus que la force motrice ſoit proportionnelle à la perte de mouvement que fait le pendule à chaque oſcillation, lorſqu'il eſt abandonné à lui-même, & dont les vibrations ſe font par la ſeule impulſion qu'on lui aura donnée ; étant très-eſſentiel, qu'après avoir adapté un rouage, celui-ci ne dérange pas l'iſochroniſme des vibrations. Nous traiterons cet objet plus au long, en parlant des moyens de rendre iſochrones les pendules qui ſont mus par des forces motrices variables, comme ſont les reſſorts.

1601. Avant que de paſſer plus loin, comparons les forces de mouvement d'un même pendule qui décrit des arcs différents ; comparons de même les forces requiſes pour l'entretenir dans l'un & l'autre cas. Reprenons le pendule qui décrit 10 degrés.

1602

1602. La force de mouvement d'un corps employé à vaincre des obſtacles, eſt le produit de la maſſe par le quarré de la vîteſſe ou de l'eſpace parcouru ; ainſi pour comparer la quantité du mouvement d'un même pendule, il ſuffit de comparer les quarrés des arcs, puiſque les produits ſont multipliés par la même maſſe qui eſt la lentille ; la quantité de mouvement du pendule qui décrit 10 degrés, eſt donc à celle de ce même pendule qui en décrit un, comme le quarré de 10 eſt au quarré de 1, c'eſt-à-dire, comme 100 eſt à 1 ; d'où l'on voit que le pendule qui décrit 10 degrés, a 100 fois plus de force pour vaincre les obſtacles qui s'oppoſent à ſon mouvement, que n'a le pendule qui décrit un degré pour vaincre ces mêmes obſtacles ; mais la force requiſe pour entretenir le mouvement du pendule qui décrit 10 degrés, doit être $159\frac{2}{13}$ fois plus grande que pour celui qui décrit un degré ; ainſi les changements arrivés dans cette force, cauſeront des écarts beaucoup plus grands que ceux qui ſeroient produits par la moindre force : par cette ſeule raiſon & indépendamment des autres conſidérations, un pendule qui décrit de petits arcs eſt préférable à celui qui en décrit de grands.

PROBLEME III.

Trouver la force requiſe pour entretenir le mouvement du Pendule, lorſqu'il décrit 15 min. ou $\frac{1}{4}$ de degré.

1603. ON trouve par le calcul, qu'un pendule qui décrivoit des arcs de 15 min. ayant été réduit à 7 min. s'éleve moins haut à 7 min. qu'a 15 min. de 0,003 ligne : or, ſelon nos expériences, un tel pendule emploie 8 heures ou 28800 ſecondes de temps à diminuer les arcs qu'il décrit depuis 15 min. juſqu'à 7 ; diviſant donc le poids de la lentille par ce nombre de ſecondes, on trouve pour quotient grains 6,72, avec lig. 0,003 de deſcente par ſecondes ou lig. 0,033, & grain 0,61, c'eſt-àdire, lig. 0,33 & grain 0,061 : or, on a trouvé par le premier problême, que pour entretenir le mouvement du

pendule qui décrit 10 degrés, il faut ligne 0,33 de deſcente & 358 grains $\frac{1}{7} = 358{,}40$; c'eſt-à-dire, qu'il faut 5875 $\frac{11}{61}$ fois plus de force pour entretenir le mouvement du pendule qui décrit 10 degrés, que pour celui qui décrit $\frac{1}{4}$ de degré.

REMARQUE.

1604. CETTE différence prodigieuſe ſert à nous prouver combien il eſt important de proportionner la force motrice aux arcs que parcourt le pendule, & au poids de la lentille, &c. C'eſt par cette raiſon qu'il eſt très-difficile, pour ne pas dire impoſſible, de le faire dans les horloges à reſſort, n'étant pas maître d'augmenter ou de diminuer la force du reſſort, ſelon qu'il eſt beſoin; au lieu que dans les horloges à poids, on met d'abord le pendule en mouvement, en ne lui faiſant parcourir que les arcs de levée, & l'on n'adapte qu'un moteur ſuffiſant pour entretenir les arcs, ſans augmenter que peu leur étendue. On ne doit pas craindre de mettre cette force motrice trop petite; ce qui s'appercevroit par la diminution des arcs, & par le pendule qui arrêteroit. Si on ne peut pas donner des regles abſolues des forces qu'il faut employer ſelon les différentes lentilles & les différents arcs parcourus; il eſt au moins conſtant que la meilleure méthode eſt de proportionner la force motrice, comme nous venons de le dire.

1605. Il n'eſt pas poſſible de déterminer par le calcul la force requiſe, pour entretenir un pendule quelconque en mouvement, à moins que l'on ne faſſe expérience de la diminution de ſes arcs; comme nous l'avons fait; car cette diminution des arcs varie, non-ſeulement ſelon le plus ou moins de peſanteur de la lentille, ſelon ſa forme, mais ſur-tout, ſelon qu'il eſt ſuſpendu, enſorte que l'on ne peut pas aſſigner des regles générales là-deſſus; & quand même on pourroit le faire, ceux qui exécutent nos horloges ſont rarement en état d'appliquer ces calculs; il vaut mieux leur donner des regles qui tiennent à l'expérience.

1606. Nous répéterons ici une obſervation dont nous

avons déja parlé à la ſuite du premier problême : c'eſt que ſi les forces requiſes pour entretenir le même pendule, étoient, comme quelques perſonnes l'ont prétendu, en raiſon inverſe des quarrés des arcs, on auroit la proportion ſuivante pour le pendule qui décriroit 10 degrés ou $\frac{1}{4}$ de degré : La force qu'il faut pour entretenir les arcs de 15 minutes, eſt à la force requiſe pour entretenir les arcs de 10 degrés, comme le quarré de 15 minutes eſt au quarré de 10 degrés = 600 min. c'eſt-à-dire, comme 1 eſt à 1600 ; au lieu que nous avons trouvé par le calcul fondé ſur l'expérience, que cette force doit être comme 1 eſt à $5875\frac{25}{61}$.

1607. Pour qu'un pendule pût être mu par la même puiſſance, ſoit qu'il décrivît des arcs de 15 min. ou de 600 min. il faudroit que la peſanteur de la lentille, lorſqu'il décrit des arcs de 15 min. fût au poids de la lentille, lorſqu'il en décriroit 600, comme $5875\frac{25}{61}$ eſt à 1 ; de cette maniere, elle auroit même relation avec la force motrice dans l'un ou l'autre cas ; au lieu qu'en ſuivant le principe des forces, elle auroit dû être comme 1600 eſt à 1 : on n'a donc pas établi des loix qui ſoient d'acord avec l'expérience.

CHAPITRE XV.

Suite du Calcul ſur le Pendule libre.

PROBLEME I.

Trouver la force requiſe pour entretenir le mouvement d'un Pendule à ſecondes, qui décrit 10 degrés, & dont la lentille peſe 7 liv. 5 onces, pour ſervir à comparer avec la force employée à entretenir le mouvement du Pendule, dont la lentille peſe 21 liv.

1608. NOUS AVONS trouvé problême I. (1592); que l'excédent du ſinus-verſe de 10 deg. ſur celui de $9^{d}\,45$ min. eſt de 0,33 lig. or, ſelon l'expérience rapportée (1582), ce pendule dont la lentille peſe 7 liv. 5 onces, reſte 5 min. de temps, depuis les arcs de 10 deg. à ceux de 9 deg. 45^{m}, c'eſt-à-dire, qu'a chaque 5eme min. il faudroit élever la lentille de ligne 0,33; diviſant donc 67392 grains, que peſe la lentille, par 300 ſecondes, on aura la force qu'il eſt néceſſaire de reſtituer à chaque ſeconde au pendule, pour l'entretenir en mouvement; on trouve pour quotient 224,64 grains, & ligne 0,33: or nous avons trouvé, problême premier, que pour entretenir le mouvement du pendule, dont la lentille peſe 21 liv. il faut un poids de 358,40 grains, avec ligne 0,33 de deſcente; la force qu'il faut pour entretenir la lentille qui peſe 7 liv. 5 onces, eſt donc à celle qu'il faut pour la lentille 21 liv. comme 224,64 eſt à 358,40; mais la quantité de mouvement de la lentille légere eſt à la quantité de mouvement de l'autre, comme 7 liv. 5 onces eſt à 21 liv. Je dis comme le poids des lentilles, par la raiſon qu'elles ont même vîteſſe; or s'il y avoit même avantage à ſe ſervir de l'une & de l'autre

lentille, il faudroit que ces quatre quantités fuſſent en proportion, c'eſt-à-dire, que 224,64 fût à 358,40, comme 117 eſt à 336. Mais il s'en faut de beaucoup que cela ne ſoit ainſi; car la force requiſe pour entretenir la petite lentille, eſt beaucoup plus grande relativement à ſa quantité de mouvement, que n'eſt la force requiſe pour entretenir la grande lentille relativement à ſa quantité de mouvement.

1609. Ainſi on voit, que quoique la force requiſe pour entretenir la petite lentille, ſoit moins grande que celle qu'il faut pour entretenir la lentille peſante; comme la quantité de mouvement de la grande eſt beaucoup plus conſidérable que celle de la petite, il eſt préférable de ſe ſervir d'une lentille peſante.

1610. On tirera donc de ce qui précede une regle générale pour un régulateur quelconque; *c'eſt que plus ſa quantité de mouvement ſera grande, relativement à la force requiſe pour entretenir le mouvement, plus ce régulateur ſera puiſſant*; c'eſt-à-dire, capable de détruire & réduire les effets de l'air, des frottements, &c. condition requiſe pour l'iſochroniſme des vibrations.

REMARQUE.

1611. CETTE lentille légere eſt préciſément une de celles dont on faiſoit uſage, lorſqu'on a commencé à adapter les lentilles aux horloges: or on voit qu'il falloit une force conſidérable à la circonférence de la roue d'échappement pour entretenir le mouvement de cette lentille, dont les arcs étoient au moins de 10 degrés. En ſuppoſant que cette roue fût de telle grandeur, qu'à chaque battement du pendule elle parcourût 0,33 lignes, elle devoit avoir à ſa circonférence une force de 224,64 grains, & cela en ſuppoſant que le pendule étoit ſuſpendu, de maniere que la réſiſtance ou frottement de la ſuſpenſion ne cauſoit pas plus de perte de mouvement que ne fait celle dont je me ſers, ce qui n'étoit ſûrement pas; car on employoit des ſuſpenſions à reſſort qui, comme nous l'avons fait voir, détruiſent une plus grande quantité de la force du

pendule ; ainſi nous pouvons bien aſſurer que, pour entretenir le mouvement de leurs pendules, il falloit le double de la force que nous avons trouvée : or la roue d'échappement ayant une telle force à ſa circonférence, cauſoit de très-grands frottements ſur ſes pivots; & comme d'ailleurs les roues que l'on faiſoit alors étoient fort grandes & peſantes, les pivots mal ronds, gros, &c, il arrivoit néceſſairement que les quantités de frottement, l'épaiſſiſſement des huiles, &c, changeoient l'action de la roue d'échappement ſur le pendule, & que celui-ci, au-lieu de 10 degrés qu'il décrivoit d'abord, n'en décrivoit que 9 ; après ces changements ; cette inégalité des arcs parcourus par le pendule, dérangeoit néceſſairement l'iſochroniſme de ſes vibrations. Ce fut pour remédier à cette difficulté, que le célebre Huighens adapta à la piece de ſuſpenſion du pendule des lames pliées en cicloïdes : l'effet de ces portions de cicloïdes étoit tel, que le fil qui ſuſpendoit le pendule s'appliquoit ſur ces courbes, enſorte qu'à meſure qu'il décrivoit de plus grands arcs, il devenoit plus court ; ainſi ſes vibrations s'achevoient toujours dans le même temps. Mais on a reconnu depuis l'inutilité de la cicloïde ; car les petits arcs de cercles, (comme on le voit dans l'ouvrage même de M. Huighens) ne different que peu des petits arcs ſemblables de cicloïde ; on a donc fait des pendules qui décrivent de plus petits arcs.

PROBLEME II.

Comparer la force de mouvement du Pendule à ſecondes, avec celui à demi-ſecondes, qui decrit les mêmes arcs, & dont la lentille eſt de même peſanteur.

1612. LES ARCS parcourus par le pendule à demi-ſecondes, & par le pendule à ſecondes étant ſemblables, l'eſpace parcouru par le pendule à ſecondes eſt à l'eſpace parcouru par le pendule à demi-ſecondes en même raiſon que leur longueur, c'eſt-à-dire, comme 4 eſt à 1 ; mais comme le court pendule fait deux battements pour un du grand, il

faut doubler l'eſpace qu'il parcourt ; ainſi la vîteſſe du pendule à ſecondes eſt à la vîteſſe du pendule à demi-ſecondes, comme 4 eſt à 2 ; or la quantité de mouvement ou d'action d'un corps, étant le produit de la maſſe par le quarré de la vîteſſe, ſi on multiplie 16, quarré de la vîteſſe du pendule à ſecondes, par le poids de la lentille, on aura pour produit un nombre qui exprimera la quantité de mouvement du pendule à ſecondes ; multipliant de même 4, quarré de la vîteſſe du pendule à demi-ſecondes, par le poids de la lentille, le produit marquera la quantité de mouvement du court pendule. Mais comme la lentille eſt la même dans l'un & l'autre pendules, les produits des quarrés des vîteſſes par la même quantité, ne changeront pas de rapport ; ainſi la quantité de mouvement du pendule à ſecondes, eſt à la quantité de mouvement du court pendule, comme 16 eſt à 4, ou comme 4 eſt à 1 (*).

REMARQUE.

1613. Il faut obſerver que le pendule à ſecondes & le pendule à demi-ſecondes, ayant employé le même temps à ſe mouvoir librement depuis les arcs de 10 degrés juſqu'à ceux de 9 deg. 45 min. & la lentille étant d'ailleurs la même, il faut 4 fois plus de force pour entretenir le mouvement du pendule à ſecondes que pour celui à demi-ſecondes ; car celui-ci étant quatre fois plus court, ſon ſinus-verſe diminue en même raiſon, d'où il ſuit que l'un & l'autre pendules ſont également propres à ſervir de régulateur.

1614. Cependant nous croyons que le pendule qui bat les ſecondes eſt préférable à celui qui fait deux battements par ſecondes ; 1°, parce que la réſiſtance de la ſuſpenſion eſt moindre que dans le pendule à demi-ſecondes : 2°, parce que le pendule à ſecondes eſt très-propre pour les obſervations, pour compter les parties du temps : 3°, parce que la lenteur de ſes vibrations rend le rouage plus ſimple & moins chargé de

(*) Si on vouloit que ce pendule à demi-ſecondes eût autant de force de mouvement que celui à ſecondes, il faudroit doubler l'étendue de ſes arcs, ou bien quadrupler le poids de la lentille.

dents ou de révolutions, ce qui diminue les frottements.

1615. Nous le croyons préférable à un grand pendule, par la raiſon qu'il eſt plus facile à conſtruire, & procure au moins la même juſteſſe, enſorte que nous regardons le pendule à ſecondes, comme celui qui réunit le plus d'avantages : je ne prétends pas cependant dire que l'on ne puiſſe faire de bonnes machines avec de plus longs & de plus courts pendules.

PROBLEME III.

De la force requiſe pour entretenir le mouvement du Pendule, dont la lentille peſe 63 liv.

1616. NOUS avons trouvé (1589) que le pendule de l'horloge aſtronomique qui décrit les arcs de 15 minutes, a été réduit à 7 min. en 8 heures de temps, c'eſt-à-dire, en 28800 ſecondes, & nous avons vu (1603) qu'un pendule s'éleve moins au-deſſus de ſon repos, dans les arcs de 7 min. qu'à ceux de 15 min. de 0,003 lignes.

1617. Si nous diviſons le poids de la lentille du pendule aſtronomique par le nombre 28800, nous aurons la force requiſe pour entretenir le mouvement de ce pendule ; ſa lentille peſe 63 liv. qui ſont 1008 onces = 8064 gros = 580608 grains ; nous trouverons pour quotient 20 grains : c'eſt donc 0,003 lignes de deſcente, & 20 grains par ſecondes qu'il faut employer pour entretenir le mouvement de ce pendule, ce qui égale $\frac{3}{10}$ de deſcente, & $\frac{20}{100}$ de grain, c'eſt-à-dire, environ $\frac{1}{3}$ ligne de deſcente & $\frac{1}{5}$ de grain de force.

1618. Pour comparer la force requiſe pour entretenir le mouvement du pendule aſtronomique avec la force requiſe pour entretenir le mouvement du pendule de 21 liv. il faut faire attention qu'ils ont employé le même temps l'un & l'autre en partant des arcs de 15 min. pour être réduits à ceux de 7 min.

1619. Et comme ces pendules ont même longueur, la différence des ſinus-verſes des arcs parcourus eſt la même ; ainſi

les

les forces requiſes pour entretenir les mouvements de ces pendules, ſont entr'elles comme les poids des lentilles, c'eſt-à-dire, que la force pour entretenir le mouvement de la lentille de 21 liv. lorſqu'elle décrit des arcs de 15 min. eſt à la force requiſe pour entretenir la lentille peſant 63 liv. qui décrit les mêmes arcs, comme 21 eſt à 63 : les quantités de mouvement des deux pendules ſont donc entr'elles comme leurs poids.

1620. D'où il ſuit que ces deux pendules en décrivant des arcs de 15 min. ſeront également propres à meſurer le temps : car ſi d'un côté la lentille peſante éprouve moins de variations par l'air (à cauſe de ſa peſanteur), de l'autre elle ſera plus ſuſceptible des variations cauſées par les inégalités de force motrice, ainſi tout ſera compenſé.

REMARQUE.

1621. NOUS avons conſidéré juſques ici la force qu'il faut reſtituer au pendule pour entretenir ſon mouvement, comme ſi elle ſe communiquoit ſans perte ; or cela n'arrive pas en effet ; car le frottement de la roue avec la piece d'échappement diminue néceſſairement ſa force, enſorte que la force que nous avons trouvée par ce calcul n'eſt pas ſuffiſante, & qu'il faut en ajouter le ſurplus pour les frottements de l'échappement.

1622. Nous devons auſſi obſerver par rapport aux pendules qui décrivent des arcs infiniment petits, qu'il n'eſt preſque pas poſſible de ne donner plus de force qu'il n'eſt beſoin à la roue d'échappement ; car 1°, ſi cette roue porte une aiguille des ſecondes, il faut que la force motrice ſoit telle que la roue tende à tourner avec une plus grande vîteſſe que la piece d'échappement, ſans quoi l'aiguille retarderoit la vîteſſe de la roue, enſorte que la piece d'échappement ſe ſouſtrairoit à l'action de la roue qui ne pourroit reſtituer le mouvement au pendule ; & dans cette ſuppoſition, lorſque la piece d'échappement rentreroit dans l'intervalle des dents, elle arcbouteroit ſur le derriere des dents : or l'aiguille de ſe-

condes réſiſte au mouvement, & par ſon inertie, & par ſa longueur qui éprouve une réſiſtance de l'air. Ainſi pour que la roue d'échappement tourne avec cette vîteſſe requiſe dont nous venons de parler, il faut une force motrice qui ſoit d'autant plus grande que l'aiguille ſera longue & peſante; il faudra donc que la force de mouvement de la roue d'échappement ſoit beaucoup plus grande qu'il n'eſt beſoin, pour reſtituer les oſcillations du pendule; & cette force peut être telle, que ſi c'eſt un échappement à repos, elle dérangera l'iſochroniſme du pendule, par la raiſon que, dans le repos, la roue agira avec toute la force, & tendra à retarder les vibrations du pendule; & dans l'inſtant de l'impulſion, l'inertie de l'aiguille retardera la vîteſſe de la roue, enſorte que celle-ci ne communiquera qu'une partie de ſa force.

1623. 2°, Cette force infiniment petite d'une roue d'échappement, abſtraction faite de l'obſtacle dont nous venons de parler, ſera entiérement, ou très à peu-près, détruite par le froid; car la réſiſtance que les huiles gelées cauſeront, pourroit être telle qu'elle détruiſît la tendance des roues au mouvement; ainſi il faudra doubler ou tripler le poids, afin que l'horloge n'arrête pas par le froid, de ſorte qu'en été la force motrice ſera deux ou trois fois plus grande qu'il ne faut: nous aurons encore occaſion de parler des effets de l'huile; nous y renvoyons.

1624. Nous avons déja touché quelque choſe en paſſant du peu d'avantage qu'il y a d'employer des lentilles trop peſantes; nous traiterons encore cet objet ci-après, en parlant de la dilatation des métaux; & nous venons de voir que les petits arcs décrits par un pendule ſont très-défectueux; on s'eſt donc un peu trop preſſé de faire des pendules peſants avec de trop petits arcs. J'eſpere que je traiterai cet objet de maniere à ne rien laiſſer à deſirer, en établiſſant de telles limites, qu'on ne pourra s'en écarter ſans faire de mauvaiſes machines; à moins que l'on ne parvienne à trouver une matiere quelconque qui ſoit moins ſuſceptible de deſtruction, d'affaiſſement, &c.

CHAPITRE XVI.

Des Pendules qui ſont mus par l'action inégale des Reſſorts (*).

Différence des oſcillations du Pendule libre, avec le même Pendule mu par une force motrice variable, & ſelon la nature de l'échappement.

1625. NOUS avons conſidéré juſqu'ici le *Pendule libre*; c'eſt-à-dire, celui qui ſe meut par l'impulſion qu'on lui a communiquée, ou qui eſt entretenu en mouvement par une force proportionnelle à ſa perte de mouvement, qui d'ailleurs eſt conſtante. Nous allons maintenant rechercher la nature des oſcillations du pendule, auquel on a adapté une force motrice variable & non proportionnelle ; & nous ferons voir qu'en appliquant à un pendule un rouage pour en entretenir le mouvement, les oſcillations de ce pendule deviennent d'une plus longue ou plus courte durée, ſelon la nature de l'échappement que l'on employe.

PROPOSITION.

1626. 1°, SI l'échappement eſt à repos, les oſcillations du pendule ſeront plus lentes, car la preſſion de la dent ſur le

(*) Dans les courts pendules, on peut en rendre les oſcillations à peu-près iſochrones, en employant des lentilles fort peſantes, bien ſuſpendues, & qui décrivent des petits arcs, quelle que ſoit la nature de l'échappement que l'on employe ; mais outre que ces machines exigent plus de dépenſe, on n'en peut pas faire uſage dans nos Horloges à pendule, dont les boîtes ſont trop étroites, comme les cartels, par exemple ; il faut donc rechercher des moyens propres à rendre égales les vibrations d'un court pendule à lentille légere, qui eſt mu par la force inégale d'un reſſort.

repos retarde la partie deſcendante de l'oſcillation.

1627. 2°, Si l'échappement eſt à recul, les oſcillations du pendule ſeront plus promptes; car le recul abrege la partie aſcendante de l'oſcillation, dont il empêche l'étendue de l'arc; & la réaction de la roue accélere encore la partie deſcendante de l'oſcillation. Examinons encore mieux ce qui doit arriver dans l'échappement à repos, & comment il trouble & retarde les oſcillations du pendule libre.

1628. Lorſque la dent du rochet a communiqué ſon impulſion au plan incliné, le pendule monte preſque librement, car il ſe meut avec vîteſſe, & avant que la dent preſſe avec toute ſon action ſur le repos, de maniere que le pendule décrit un plus grand arc; mais le pendule ayant conſumé toute la force d'impulſion de la roue, il redeſcend par la ſeule force de ſa peſanteur; or la preſſion de la dent ſur le repos cauſe un frottement qui diminue la tendance du pendule pour deſcendre, enſorte qu'il fait ſon oſcillation plus lentement.

1629. Il ſuit de ces effets des échappements à repos & à recul: 1°, Que plus un échappement cauſera un grand recul à la roue, & plus les oſcillations du pendule ſeront dérangées & accélérées par l'augmentation de force motrice.

1630. 2°, Qu'en diminuant inſenſiblement le recul, l'horloge avancera de moins en moins, & juſques-là qu'ayant entiérement détruit le recul & fait l'échappement à repos, alors les oſcillations du pendule ſeront plus lentes que s'il oſcilloit librement.

1631. 3°, Que par conſéquent il y a un certain recul dans l'échappement dont la propriété ſera telle, que l'augmentation ou diminution de la force motrice ne changera aucunement la durée des oſcillations, c'eſt-à-dire, qu'elles ſeront iſochrones.

Des Pendules à reſſort.

1632. Il y a deux choſes eſſentielles auxquelles il faut

avoir égard dans les horloges à reſſort ; la premiere, c'eſt de proportionner la force du régulateur à celle du reſſort ; la ſeconde, c'eſt de conſtruire l'échappement, de maniere que les inégalités du reſſort ne changent pas l'iſochroniſme des vibrations : comme on n'a communément aucun égard à ces deux choſes dans la fabrication de ces ſortes d'horloges, nous traiterons cet objet, afin que ceux qui ſeront curieux de faire de bonnes machines puiſſent y parvenir ſans trop de difficultés.

Expériences faites ſur une Horloge à demi-ſecondes : Echappement à repos.

1633. J'AI fait une Horloge à demi-ſecondes, dont la lentille peſe 6 liv. l'échappement à repos ; & dont le pendule décrit des arcs d'un degré. Cette horloge va un mois ſans remonter, le barillet a 19 lignes de diametre ; ainſi la force motrice n'eſt pas conſidérable ; cependant elle produit un effet tel que l'appui de la dent ſur le repos retarde conſidérablement la vibration du pendule ; car la longueur du pendule n'eſt que de 9 pouces depuis le point de ſuſpenſion au centre de la lentille, & cependant la machine eſt réglée ; au lieu que ſi ce pendule oſcilloit librement, le centre de la lentille ſeroit au moins de 3 lig. plus bas. On voit par-là combien la preſſion ſur le repos dérange les vibrations. On peut juger combien dans les montres à cylindre les oſcillations du balancier ſont dérangées par l'échappement ; car dans ces montres la force motrice étant capable de donner le mouvement au balancier, cette force doit beaucoup plus déranger les vibrations que dans l'horloge à pendule où la force eſt toujours bien éloignée de mettre le pendule en mouvement, ne pouvant au contraire qu'entretenir la vibration du pendule lorſqu'on l'a mis en mouvement.

1634. Il eſt évident qu'une telle horloge doit faire des écarts, ſelon que la force motrice eſt plus ou moins grande ; elle doit donc avancer à meſure que le reſſort ſe débande.

1635. Si on augmentoit les arcs de levée, de ſorte que le pendule décrivît 3 ou 4^{d}, il faudroit alors redeſcendre la lentille; car pour lors la force du pendule étant plus grande, l'appui de la dent ſur le repos ne pourroit plus détruire qu'une très-petite partie de cette force; ainſi les oſcillations du pendule ſe feroient plus librement: la même choſe arriveroit, ſi on diminuoit de beaucoup la force motrice.

1636. Lorſqu'un reſſort eſt fait, il n'eſt pas aiſé de changer ſa force; ainſi on ne peut pas, comme dans les horloges à poids, augmenter & diminuer le moteur, juſqu'à ce qu'il ſoit de la quantité requiſe pour entretenir le mouvement du pendule; & d'ailleurs, le calcul qu'il ſeroit néceſſaire de faire pour trouver à chaque pendule la force du moteur, ou bien, le reſſort étant donné, pour trouver la peſanteur de la lentille, l'étendue de ces arcs, &c: or, dis-je, ce calcul ſeroit très-difficile, & hors de la portée des Ouvriers qui exécutent nos horloges à pendule; j'ai donc cherché à leur donner des méthodes qui puiſſent conduire à la même perfection ſans tant de difficultés.

REMARQUE.

1637. DANS une horloge dont l'échappement eſt à repos, plus la lentille ſera légere & parcourra de petits arcs, & plus l'horloge retardera par l'augmentation de force; & au point, que ſi cette force motrice eſt fort grande relativement à la quantité de mouvement du pendule, la peſanteur de la lentille ne ſeroit pas ſuffiſante pour vaincre le frottement du repos; enſorte que le pendule arrêteroit ſans redeſcendre à la verticale; au contraire, plus la force de mouvement du pendule ſera grande relativement au moteur, & moins le repos dérangera l'oſcillation du pendule. Ainſi ſi l'on a une lentille peſante qui décrive de grands arcs, les oſcillations ne ſeroient pas ſenſiblement troublées, quand même on viendroit à rendre la force motrice double de ce qu'elle devoit être pour entretenir le mouvement du pendule. Si on adapte à l'horloge un échappement à recul; &, la lentille étant trop légere, relati-

vement à la force motrice, il arrivera que la force du moteur venant à augmenter, les oſcillations du pendule en ſeront d'autant plus promptes ; car l'impulſion de la roue par la levée accélérera cette partie de l'oſcillation, qui le ſera encore (accélérée) par le recul : la lentille étant trop légere, ainſi que nous le ſuppoſons, ne fera pas ſes vibrations de la même maniere que le feroit le pendule libre ; au contraire, la force motrice lui communiquera une partie de ſa vîteſſe & de ſes inégalités. Il ſuit de ces obſervations qu'un échappement étant donné, ſa propriété change ſelon le plus ou moins de force de mouvement du pendule, relativement à la force motrice. Ainſi la courbure ou inclinaiſon qui donne le recul n'eſt pas conſtante, ni la même dans toutes ſortes d'horloges ; il faut avoir égard au plus ou moins de peſanteur de la lentille, de force motrice, de l'étendue des arcs du pendule, &c. Ce problême intéreſſant eſt donc très-compliqué, & merite d'être réſolu par un bon Géometre ; mais en attendant que cela ſoit, je conſeille aux Artiſtes de varier les courbures de l'inclinaiſon de l'ancre, ſelon que l'exigera la nature de la machine, & ils parviendront à avoir des oſcillations ſenſiblement iſochrones (1378).

CHAPITRE XVII.

Deſcription de la Machine que j'ai conſtruite, pour vérifier les effets des échappements & le changement qu'ils cauſent aux pendules libres.

EXPÉRIENCE SUR CET OBJET.

1638. POUR ne rien laiſſer à deſirer ſur les pendules, & pour prouver ce que j'ai avancé ſur les échappements & ſur la néceſſité d'un rapport exact entre le régulateur & la

force motrice ; j'ai exécuté une machine qui ſervira à prouver les écarts d'un pendule, lorſqu'il eſt mu par une force motrice inégale, le retard que produit l'échappement à repos, & l'avance que le recul trop grand occaſionne ; enfin nous ferons voir qu'en donnant à l'échappement un recul moyen, on remédiera à toutes les inégalités de la force motrice.

PLANCHE XXIII.

1639. LA fig. 1. repréſente cette machine. *AB* eſt le pendule ſuſpendu par un fil qui s'enveloppe ſur une petite poulie fixée à la verge du pendule, afin de pouvoir faire oſciller librement le pendule, ſans que la lentille puiſſe vaciller : au bas du pendule eſt un *limbe CD*, diviſé en 30 degrés de cercle.

1640. *GHI*, *EFK* eſt une cage qui contient deux roues, dont l'une forme la roue d'échappement, & l'autre porte un encliquetage, ainſi que le cylindre ſur lequel s'enveloppe une corde qui porte le petit ſac *Q* que je charge ſucceſſivement de différents poids. Cette roue *L* a 180 dents ; elle engrene dans le pignon *6* qui porte la roue d'échappement *M* de 60 dents ; & comme chaque battement du pendule eſt de demi-ſecondes, la roue *M* fait un tour en une minute, & la roue *E* en fait un en 30 min. La roue *L* eſt graduée en 30 parties, afin de marquer les minutes indiquées par un index *O* fixé au pilier *FI* ; la roue *M* eſt pareillement graduée, mais en 60 parties, afin de marquer les ſecondes qui ſont auſſi indiquées par l'index *P*.

1641. La fourchette *X* eſt miſe à frottement ſur l'axe qui porte la piece d'échappement : cette fourchette eſt fendue dans ſa longueur afin de pouvoir faire monter & deſcendre la tige *a* qui correſpond au pendule, & de diminuer ou d'étendre les arcs du pendule, ſelon que mes expériences l'exigent : la verge du pendule eſt auſſi fendue dans ſa longueur pour recevoir la tige *a* de la fourchette.

1642. Sur l'axe de la fourchette, j'ai adapté trois ſortes d'ancres qui ſont tellement exécutés, qu'ils forment, avec la roue

roue d'échappement, l'un (*fig.* 1), l'échappement à repos : *X* (*fig.* 4), l'échappement à grand recul, & la troiſieme, (*fig.* 3) l'échappement iſochrone ; ils ſont tellement conſtruits qu'ils font décrire les mêmes arcs de levées.

1643. L'échappement à grand recul fait rétrograder la roue avec une vîteſſe égale à l'eſpace parcouru par le plan de l'ancre.

1644. L'échappement iſochrone fait rétrograder la roue d'un quart de l'eſpace qu'il parcourt.

1645. Pour faire des expériences d'après leſquelles on puiſſe partir, j'ai fait oſciller librement le pendule, & j'ai réglé ſon mouvement, en comparant ſa marche avec une horloge à ſeconde, placée à côté de cette machine ; j'ai donc baiſſé la lentille, juſqu'à ce que les oſcillations du pendule libre qui décrit 6 degrés, aient été reglées ſur l'horloge à ſecondes : le pendule ainſi réglé, le centre de la lentille eſt diſtant du point de ſuſpenſion de 9 pouces 7 lignes. Dans le pendule ſimple, la diſtance de ce centre ne doit être que de 9 pouces 2 lignes $\frac{14}{100}$: mais cette lentille peſe 5 gros, elle a 18 lignes de diametre, & la verge du pendule eſt peſante ; ainſi le centre d'oſcillation eſt au-deſſus de celui de la lentille de toute la quantité de 4 lignes $\frac{16}{100}$; c'eſt-à-dire, près de 5 lignes. Cela ainſi préparé, nous ſerons aſſurés, après avoir adapté un des échappements dont nous avons parlé, que les écarts qui arriveront de la marche de la machine ſeront produits par l'échappement.

I. EXPÉRIENCE.

1646. J'ai adapté l'échappement à repos, dont l'arc de levée eſt de 5 degrés $\frac{1}{2}$, la force motrice une once, l'arc de vibrations 8 deg. En une heure de temps, cette eſpece d'horloge a retardé de 30 ſecondes, ce qui feroit 12 min. en 24 heures.

II. EXPÉRIENCE.

1647. J'ai doublé la force motrice en laiſſant l'échappement au même point ; l'arc de vibrations du pendule

étoit alors de 12 degrés; en une heure elle a retardé de 35 ſecondes; c'eſt-à-dire 14 minutes en 24 heures.

III. EXPÉRIENCE.

1648. LAISSANT le même échappement, & augmentant la force motrice d'une once, c'eſt-à-dire, en la rendant triple de ce qu'elle étoit dans la premiere expérience, le pendule a décrit des arcs de 14 degrés, en une heure a retardé de 37 ſecondes; c'eſt 14 min. 48 ſecondes en 24 heures.

IV. EXPÉRIENCE.

1649. J'AI adapté ſur l'axe de la fourchette l'ancre (*fig.* 2) de l'échappement à grand recul; arc de levée, 5 deg. $\frac{1}{2}$; arc de vibration, 8 degrés; force motrice, 1 once. En une heure a retardé de 15 ſecondes; en 24 heures, 6 minutes.

V. EXPÉRIENCE.

1650. LAISSANT le même échappement; force motrice; 2 onces; même levée; arc de vibration 10 degrés; en une heure retarde de 6 ſecondes; en 24 heures, 2 min. 24 ſecondes.

VI. EXPÉRIENCE.

1651. J'AI adapté ſur la tige d'échappement l'ancre à moyen recul; arc de levée, 5 deg. $\frac{1}{2}$; arc de vibration 8 deg. force motrice une once; en une heure a retardé de 27 ſecondes; en 24 heures, 10 min. 48 ſecondes.

VII. EXPÉRIENCE.

1652. LAISSANT le même échappement; arc de levée, 5 deg. $\frac{1}{2}$; force motrice, 2 onces; arc de vibration, 12 deg. en une heure a retardé de 27 ſecondes; en 24 heures, 10 min. 48 ſecondes.

VIII. EXPÉRIENCE.

1653. MEME échappement; arc de levée, 5 deg. $\frac{1}{2}$;

force motrice, 3 onces; de vibration, 14 deg. $\frac{1}{2}$; en une heure retarde de 27 ſecondes; en 24 heures, 10 min. 48 ſecondes.

1654. On voit par ces expériences combien les oſcillations du pendule ſont troublées par l'échappement, & diverſement ſelon ſa nature; ce qui confirme parfaitement tout ce que nous avons établi ci-devant (1626)

1655. Par la premiere expérience, on voit que la force motrice d'une once fait retarder le pendule de 12 min. en 24 heures, lorſqu'il eſt mu par un échappement à repos; par la ſeconde, on voit que le même échappement retarde 2 minutes de plus, lorſqu'on double la force motrice; enfin, par la troiſieme expérience, il retarde de 2 min. 48 ſecondes de plus, lorſqu'on triple la force motrice.

1656. Par la quatrieme expérience, on voit que l'échappement à grand recul retarde de 6 min. en 24^{h}, lorſque la force motrice eſt d'une once; c'eſt-à-dire, que cet échappement retarde les oſcillations de 6 min. de moins que celui à repos en 24 heures; par la cinquieme expérience, on voit qu'en doublant la force motrice à cet échappement, le pendule ne retarde que 2 min. 24 ſecondes en 24 heures, ce qui differe de l'échappement à repos, dont les arcs de levée & la force motrice ſont les mêmes, de 11 min. 36 ſecondes en 24 heures.

1657. Par la ſixieme expérience, on voit que l'échappement dont le recul eſt moyen entre le repos & le grand recul, retarde de 10 min. 48 ſecondes en 24 heures, lorſque la force motrice eſt d'une once; enfin, les 7me & 8me expériences démontrent qu'en doublant & triplant la force motrice le pendule retarde conſtamment de la même quantité, 10 min. 48 ſecondes en 24 heures; cet échappement rend donc les oſcillations du pendule iſochrones, malgré l'inégalité de force motrice & des arcs parcourus.

1658. Je ne rapporterai pas ici un grand nombre d'expériences que j'ai faites, & qui prouvent la même choſe que les précédentes; je me contenterai de parler du réſultat de celles que j'ai faites, lorſque la fourchette, au lieu d'agir en *a* étoit en *b*, enſorte qu'avec les mêmes échappements, les

arcs de levée n'étoient que de trois degrés, alors les oſcillations du pendule étoient troublées beaucoup plus ſenſiblement par les changements de force motrice, ſur-tout celui à repos, qui retardoit conſidérablement les vibrations du pendule libre : ces variations ſont cauſées par l'augmentation du recul & la diminution de la levée ; car la force motrice reſtant la même, ſon action ſur l'échappement doit augmenter dans la même raiſon que les arcs de levée ont été diminués ; ainſi les frottements augmentent auſſi à proportion, & d'autant plus que la traînée étoit plus grande, malgré que la levée fût plus petite.

1659. On voit par-là combien il eſt eſſentiel de diminuer l'eſpace parcouru par le recul de l'échappement, & au contraire d'augmenter la levée ; lors donc que l'eſpace que doit parcourir un balancier ou un pendule ſera donné, plus l'arc par la levée ſera grand, & celui par le recul petit, & plus vous réduirez les frottements ; enfin, plus l'eſpace total parcouru par l'échappement ſera petit, & plus vous réduirez le frottement, la force motrice reſtant la même.

1660. Nous remarquerons encore ici, que ſi les échappements peuvent cauſer des effets ſi ſenſibles dans les oſcillations d'un pendule, à plus forte raiſon produiſent-ils ces effets dans les montres ; on voit ſur-tout, & nous le montrerons encore ci-après en parlant des montres, que ſi l'échappement à repos eſt le plus mauvais échappement qui ſoit applicable aux horloges à reſſort, ce n'eſt ſûrement pas le meilleur que l'on puiſſe adapter aux montres ; car, comme nous le ferons voir, s'il arrive que des montres qui ont cet échappement, aillent bien, ce n'eſt pas qu'il ſoit meilleur, mais c'eſt que d'autres défauts de la machine corrigent ceux qu'il a ; nous nous expliquerons là deſſus : enfin, & je conclus par-là, on voit que toute la brillante théorie que l'on a donnée du pendule, quoique très-vraie, lorſqu'il eſt queſtion du pendule *ſimple*, devient abſolument inutile, lorſque ce pendule eſt appliqué à l'horloge ; ainſi l'iſochroniſme par la cycloïde, & l'iſochroniſme par les petits arcs, & les calculs des temps des vibrations par les grands & les petits arcs, toutes ces théories

très-belles en ſpéculation, ne ſont pas d'uſage dans la pratique: je ne prétends pas dire que l'on ne doive les connoître; bien loin de-là, ce ſont elles qui nous ont ouvert la carriere; mais je veux dire que la théorie doit nous diriger pour nos recherches, & l'expérience doit nous conduire dans l'application de ces principes; c'eſt ainſi que ces choſes ſe prêtant des ſecours mutuels, nous parviendrons à faire de bonnes machines.

Expériences ſur un échappement rendu iſochrone.

1661. J'AI appliqué l'échappement iſochrone, (c'eſt-à-dire, conſtruit ſur les principes de celui qui a ſervi aux expériences 6, 7 & 8 (1651), & dont on a vu la conſtruction (1324 *& ſuiv.*) à une petite horloge à reſſort, dont le pendule a 5 pouces de longueur. Pour vérifier ſa juſteſſe, je l'ai faite marcher, en ne donnant d'abord qu'un tour de bande; j'ai noté de 6 heures en 6 heures l'écart qu'elle faiſoit en la comparant à l'horloge à ſecondes; en 6 heures elle retardoit de 4 min. $\frac{1}{3}$; elle a ainſi marché pendant 34 heures en retardant conſtamment de 4 min. $\frac{1}{3}$ à chaque 6 heures; elle a donc retardé de 27 min. en 34 heures; j'ai remonté le reſſort tout au haut, & ayant laiſſé marcher l'horloge pendant 24 heures, elle a retardé de 18 min. $\frac{1}{2}$, ce qui feroit $26\frac{1}{24}$, dont elle auroit retardé en 34 heures. J'ai continué à obſerver la marche de cette horloge, à meſure que le reſſort ſe développoit, & j'ai trouvé qu'elle retardoit aſſez conſtamment de la même quantité qu'elle faiſoit au bas. J'ai obſervé au même temps la marche d'une horloge à reſſort, dont la lentille avoit à peu-près 5 pouces de longueur, & dont l'échappement étoit à ancre, tel qu'on les fait communement; elle avançoit de 4 min. de plus en 24, lorſqu'elle étoit montée au haut, que lorſque le reſſort étoit à ſon premier tour de bande; cette variation étoit cauſée par le grand recul que produit l'échappement ſur la roue.

CHAPITRE XVIII.

De la Dilatation & Contraction des Métaux par le froid & le chaud.

1662. LA CHALEUR agit tellement ſur tous les corps qu'elle les alonge (a), & le froid les raccourcit: cet effet de la chaleur & du froid agit encore plus ſenſiblement ſur les fluides, comme nous le voyons par les thermometres.

1663. L'extenſion des métaux & autres corps par la chaleur, & leur contraction par le froid, fut apperçu par Wendelinus (b); & il paroît que Muſſchenbroek a été le premier qui ait fait une machine qui ſerve à faire voir ces effets du chaud & du froid; il appelle *Pyrometre* cette machine.

1664. C'eſt donc une vérité reconnue & prouvée par toutes les expériences, que la chaleur dilate tous les corps, & que le froid les condenſe; & comme il arrive qu'il n'y a pas deux moments de ſuite le même degré de chaleur, on peut dire que les parties de tous les corps, que nous croyions autrefois dans un parfait repos, ſont au contraire dans un mouvement continuel, & que ces corps ſont ainſi plus grands en été qu'en hiver, & le jour que la nuit.

1665. En traitant du pendule, nous avons fait voir que plus ils étoient longs, & plus leurs vibrations étoient lentes; & au contraire, plus ils ſont courts, & plus elles ſont promptes: or la chaleur alongeant la verge du pendule, on voit qu'en été l'horloge à pendule retardera, & qu'en hiver elle avancera: elle ne marchera donc pas d'un mouvement uniforme; il eſt

(a) On appelle *Dilatation* ou *Extenſion* cet effet de la chaleur; & l'on appelle *Condenſation* ou *Contraction* cet effet du froid ſur les corps; nous nous ſervirons donc dans la ſuite indifféremment de ces mots.

(b) Voyez la Phyſique de Muſſchenbroek, tome 1, page 202.

donc eſſentiel, pour la perfection des machines qui meſurent le temps, de connoître les degrés de dilatation & de condenſation des différents corps par le chaud & le froid; & comme l'expérience nous apprend que tous les corps n'éprouvent pas le même degré de dilatation par le même degré de chaleur, il faut rechercher quel eſt le corps qui s'alonge le moins, & comment, en compoſant la verge d'un pendule avec des métaux qui ſe dilatent différemment, on peut le rendre tel, que malgré l'action du chaud & du froid ſur ces métaux, le centre d'oſcillation ſoit toujours à même diſtance de celui de ſuſpenſion.

1666. Nous ſavons que ces différentes recherches ont déja été tentées, mais ils nous a paru que ç'a été d'une maniere très-défectueuſe & incomplette, enſorte qu'il ne nous paroît aucunement que l'on puiſſe partir d'après ces expériences, dont les meilleures n'ont pas eu pour objet les verges du pendule, & n'ont par conſéquent pas de rapport néceſſaire à l'horlogerie.

1667. Quant aux expériences de Muſſchenbroek, & de ceux qui les ont répétées d'après lui, nous pouvons aſſurer qu'elles ſont très-imparfaites; car 1°, ſon pyrometre eſt conſtruit de ſorte qu'il n'eſt pas à l'abri des changements ſoudains de la chaleur & du froid; 2°, les engrenages dont il ſe ſert, ayant néceſſairement du jeu, on ne peut pas compter exactement l'eſpace que l'aiguille a parcouru; 3°, les bougies qu'il place ſous les corps à obſerver ne donnent pas une chaleur conſtante, car le moindre air peut déranger les flammes; 4°, les expériences ſont faites ſur des morceaux de fer & autres, dont la longueur n'eſt que de 5 pouces $\frac{1}{2}$; enfin il eſt évident que par ces expériences l'on ne peut eſtimer ni la quantité d'alongement du corps par tel degré de chaleur, ni établir les rapports des dilatations des métaux; enſorte que, quoique nous reconnoiſſions que nous devons beaucoup à ces premieres expériences, par leſquelles Muſſchenbroek a ouvert la carriere, nous croyons qu'elles ſervent plutôt à montrer que les corps ſe dilatent & ſe condenſent, qu'à faire voir

comment & dans quel rapport. Les Phyſiciens qui ont repété ces expériences d'après Muſſchenbroek, ont ſuivi à peu-près la même route; ainſi nous les regardons comme auſſi inutiles pour notre objet, & elles le ſont d'autant plus, qu'aucun de ceux qui ont fait ces expériences, n'ont eu égard à la différence de la dilatation, lorſque le métal eſt ou n'eſt pas chargé de poids; or les verges de pendules ſupportent le poids de la lentille, l'extenſion en doit donc être très-différente, comme nous le ferons voir.

1668. J'ai donc entrepris de faire un pyrometre, au moyen duquel on puiſſe faire le plus exactement qu'il eſt poſſible les expériences ſur la dilatation des métaux: je le commençai en 1755, & fis dès-lors des expériences que j'ai continuées & repétées tous les hivers, faiſant chaque fois des changements pour rendre ces expériences les plus ſûres qu'il m'a été poſſible; & je ne compte y être parvenu que depuis le commencement de 1760.

1669. Je rendrai compte de la maniere dont ces expériences ont été faites, & des réſultats qu'elles ont donnés; enſuite ſuivra la deſcription des verges compoſées que j'ai conſtruites pour remédier aux variations que cauſe la dilatation & condenſation ſur les pendules, & enfin la maniere de calculer les dimenſions de ces verges.

1670. Je me ſuis d'autant plus attaché à cet objet (de la dilatation des métaux), que cette connoiſſance m'a paru eſſentielle, non-ſeulement pour l'Horlogerie, mais encore pour ſervir à la Phyſique générale. J'ai donc cru ne devoir rien négliger pour mettre cet objet, ſinon dans le meilleur état, au moins d'en approcher autant qu'il a été en mon pouvoir; & ſi ce travail a été interrompu, ce n'a été que pour le reprendre enſuite avec plus de ſoin. Je ne rapporterai ici qu'une très-petite partie des détails preſque infinis, & des expériences qu'il m'a fallu répéter & recommencer pour parvenir à ce but.

CHAPITRE XIX.

Deſcription du Pyrometre que j'ai compoſé pour faire les Expériences de la dilatation & contraction des Métaux.

PLANCHE XXIV.

1671. *F, G, H, I* (*fig.* 2) eſt une piece de marbre qui a 5 pieds de haut, 12 pouces de large, & 5 pouces d'épaiſſeur; cette piece eſt percée au haut, d'un trou à travers lequel paſſe le pilier *A*, dont la baſe a 3 pouces de diametre, & le corps 2 pouces $\frac{1}{2}$: ce pilier eſt fixé avec le marbre au moyen d'un fort écrou; le corps du pilier eſt fendu comme un coq de pendule à ſecondes; il porte deux vis qui tendent & paſſent au centre du pilier; ces vis ſervent à fixer le corps que l'on veut obſerver; & ſi c'eſt un pendule, il porte la ſuſpenſion comme le feroit un coq de pendule. J'ai formé au bout de ces vis des eſpeces de pivots trempés & tournés avec ſoin; ils paſſent d'abord dans le corps à obſerver, & entrent juſte dans la partie du pilier qui n'eſt pas taraudée; ce pilier ſert donc, comme on le voit, à fixer les pendules, & d'une façon ſolide & invariable.

1672. Ayant ſuſpendu un pendule à ſecondes au pilier *A*, j'ai fait percer au-deſſous de la lentille *D* un ſecond trou dans le marbre: à travers ce trou, paſſe, comme dans le premier, un pilier de 3 pouces de baſe; il eſt fixé à la piece de marbre de la même maniere que le pilier *A*: la baſe de ce ſecond pilier s'éleve à 3 pouces $\frac{1}{2}$ du marbre, & ſert à porter, au moyen des deux vis *a*, *b*, le limbe ou cadran *B*, qui a 10 pouces de diametre, & gradué avec ſoin en degrés du cercle.

1673. Au centre du limbe (*fig.* 3) ſe meut un pignon *c*

de 16 dents ; il eſt exécuté avec beaucoup de préciſion, & fendu ſur la machine à fendre ; il ſe meut entre le pont *g*, & le limbe *AC* ; ſa tige porte une aiguille *mn* miſe d'équilibre par le contrepoids *n*. Au haut du limbe ſe meut auſſi, entre le limbe & le pont *f*, un rateau *b a* de 4 pouces de rayon ; il porte 12 dents ; ce rateau engrene dans le pignon *c* de 16 dents ; ce rateau eſt fendu ſur le nombre 396 ; ainſi pour faire faire un tour à l'aiguille, il fait une 24 $\frac{1}{4}$ de ſa révolution, ce qui répond à un angle de 14 degrés 50 minutes $\frac{74}{396}$; je trouve par ce moyen le point du rateau où la verge doit appuyer, pour qu'une demi-ligne d'alongement faſſe faire un demi-tour à l'aiguille, & parcourir 180 degrés ; j'ai trouvé que ce point doit être diſtant du centre *a* de 3 lig. $\frac{7}{8}$. Ayant donc pris 3 lig. $\frac{7}{8}$ du centre du rateau avec beaucoup d'exactitude, j'ai percé un petit trou, dans lequel j'ai fixé une piece *p* d'acier trempé, ſur laquelle j'ai fait une courbure, qui eſt telle, que lorſque la verge du pendule s'alonge ou ſe raccourcit, c'eſt-à-dire, que le bout monte & deſcend, ce levier ne change pas de longueur, & parcourt le limbe d'un mouvement uniforme.

1674. La piece *q a* ſur laquelle eſt fixée la petite portion d'acier ſe meut ſur le centre du rateau par une vis de rappel *e* ; enſorte que je puis, par ce moyen, faire changer le rateau, & faire amener l'aiguille au degré correſpondant de thermometre, ſans changer la poſition du levier, qui doit toujours être à peu-près perpendiculaire au pendule.

1675. Les différentes diviſions que j'ai faites ſur cette piece *q a*, ſervent à produire des variations plus ou moins ſenſibles : il y en a une qui eſt à 7 lig. $\frac{1}{4}$ du centre, & double en longueur de celle où j'ai fixé la petite piece d'acier : elle ſervira dans le cas où j'aurai des corps dont l'alongement ſeroit conſidérable, & dont les 180 degrés du limbe ne ſuffiroient point ; ainſi, au lieu qu'une ligne, dans le premier cas, feroit parcourir la circonférence entiere à l'aiguille ; dans celui-ci, une ligne n'en feroit parcourir que la moitié : j'ai fait une diviſion qui eſt à 6 lig. du centre, & une à 3 ; enſorte que cette derniere, pour le même alongement d'une ligne, produira de

plus grandes variations, comme 465 degrés du limbe.

1676. Pour fixer & déterminer à volonté la position du pendule sur un de ses points de division, j'ai fait une piece de cuivre *lh*, qui se fixe après le limbe au moyen d'une forte vis *i*; la piece *lih* se meut en couliſſe, de sorte qu'on peut faire approcher son extrémité *h* fort près du centre du levier où sont les divisions: cette piece *lih* est percée en *h* d'un trou, dans lequel je fais passer une tige d'acier, fixée au centre de la lentille du pendule que je veux observer, (ou bien le bout des verges); lorsque je ne mets pas de lentille, ces verges sont alors terminées par un bout rond qui passe juste dans le trou *h*, ensorte que le pendule ne peut que s'alonger & non se mouvoir en aucun sens: ainsi, en faisant approcher cette piece *lh* du centre du rateau, ou en l'en éloignant, je rends plus ou moins sensibles les alongements des métaux. Je ne me suis servi pour toutes mes expériences que de la division où j'ai mis la petite tête d'acier, c'est-à-dire, celle sur laquelle la lentille appuyant, fait parcourir 180 degrés pour demi-ligne d'alongement.

1677. J'ai disposé une forte piece de cuivre *D* (*fig.* 4) qui a 4 pouces de diametre, & un pouce $\frac{1}{2}$ d'hauteur; elle sert à porter le limbe, lorsque l'on veut mesurer des corps de différentes longueurs: ce cylindre est ajusté avec une forte piece de fer coudée *E F*, qui sert à la fixer sur le marbre, au moyen d'une vis de pression *D*, telle que celle qui attache un étau après un établi; à travers de la piece de cuivre, il y a une entaille, dans laquelle se loge une partie de la piece de fer opposée à la vis; c'est ce qui fait la pression de la base du cylindre de cuivre sur le marbre: on voit cette piece attachée au marbre en *E* (*fig.* 2).

1678. La douzieme figure représente la machine toute montée avec son pendule, dont le crochet porté par la lentille, vient passer sur le rateau; ensorte que si la verge s'alonge ou se raccourcit, le rateau suivra ce même mouvement; ce qui fera nécessairement tourner le pignon & l'aiguille qu'il porte; lorsque le pendule se raccourcit, le rateau suit son mouvement, y étant contraint par le petit poids *P* (*fig.* 3), lequel

tient à un fil, qui s'enveloppe ſur la poulie *d*, portée ſur l'axe du pignon.

1679. Voilà à peu-près le méchaniſme du pyrometre. Il me reſte maintenant à rendre compte de la diſpoſition de l'*étuve* que j'ai faite pour donner les différents degrés de chaleur aux corps que l'on veut obſerver, enſorte que les différentes températures de l'étuve ſoient données exactement par un thermometre. Pour y parvenir, j'ai fait placer une planche à un pouce de diſtance du marbre, enſorte que l'air extérieur frappe toujours également les côtés du marbre : j'ai diſpoſé une boîte (*fig.* 1), qui entre *à feuillure* avec cette planche, avec l'intervalle néceſſaire pour loger les machines du pyrometre, ainſi que le corps que l'on veut obſerver.

1680. Cette boîte *ABCD* (*fig.* 1) forme, avec la planche en queſtion, ce que j'appelle l'étuve.

1681. Pour produire les changements de température, j'ai placé au bas de l'étuve un poële *EFac* (*fig.* 1) lequel communique à l'étuve par un tuyau à ſoupape; ce tuyau eſt dirigé contre une plaque de tôle recourbée, de maniere à diviſer la chaleur du poële, & la répandre également dans l'étuve, ſans frapper un endroit plus que l'autre, ou le moins inégalement, afin d'imiter, autant qu'il eſt poſſible, l'effet de l'air ſur les corps : cette boîte eſt percée dans ſa longueur, d'une fenêtre qui permet de voir dans l'intérieur de l'étuve, & de remarquer quelle eſt la température qui y regne; ce qui eſt indiqué par un thermometre : cette ouverture eſt fermée par une glace, & permet en même temps de voir les variations de l'aiguille du pyrometre.

1682. La machine étant amenée à ce point, il ne faut qu'avoir le plus violent degré de froid, pour connoître dans l'inſtant tous les effets de l'air ſur les métaux & autres corps. Pour cet effet, j'ôte la boîte qui renferme la machine, & laiſſant à l'air extérieur le temps de pénétrer les pores des corps & du thermometre, je remarque les degrés de froid du thermometre & celui de la machine; après cela, je remets l'étuve qui empêche toute communication avec l'air extérieur; puis rem-

pliſſant le poële de feu, & ouvrant la ſoupape qui permet à la chaleur d'entrer dans la boîte, j'obſerve les paſſages différents du froid au chaud, & marque ſur un regiſtre l'état du thermometre & celui de la machine; je fais ainſi paſſer ſucceſſivement la température de l'étuve, juſqu'à ce que le thermometre ſoit au plus haut dégré de chaleur auquel je me ſuis arrêté : je vois par-là les différents effets que l'air produit pour l'alongement, & enfin l'alongement effectif de l'extrême froid au grand chaud, les différents effets, ſoit que les corps ſoient de cuivre, d'acier, de bois, de fer, de verre, &c; la différence, s'il pouvoit y en avoir, qui fût cauſée par leurs différentes groſſeurs, & le temps que dure l'impreſſion, ſuivant la différence des groſſeurs & des qualités des corps; ainſi je détermine les alongements réels des corps, & les relatifs, ayant auſſi égard, & obſervant ſi ceux qui ſont chargés des plus grands poids s'alongent de même.

1683. On voit par la conſtruction de la machine, que tous les changements de température de l'étuve ne peuvent cauſer aucune différence dans la longueur du marbre, puiſqu'au moyen du courant d'air que j'ai ménagé entre l'étuve & le marbre, il eſt toujours frappé par l'air extérieur; ainſi il ne peut ſe dilater : d'ailleurs pour produire un alongement dans une maſſe auſſi conſidérable, il faut beaucoup de chaleur, & il faut qu'elle agiſſe pendant fort long-temps.

1684. Il ne ſuffit pas de travailler à connoître les degrés d'alongement des métaux, leurs quantités, rapports, &c. Il faut de plus chercher les moyens d'y remédier, & de faire un pendule auquel tous les degrés de température ne puiſſent jamais changer la diſtance du point de ſuſpenſion au centre d'oſcillation, & c'eſt ſur une machine comme celle-ci que l'on peut en voir la preuve : lors donc qu'un pendule compoſé, ſuſpendu à ma machine de la meſure des métaux, éprouvant tous les degrés de température, laiſſera l'aiguille immobile, je puis dire que les deux points, le centre de ſuſpenſion & celui d'oſcillation ſont reſtés à la même diſtance, & que par conſéquent ce régulateur meſurera le temps avec exactitude.

Je crois pouvoir dire que juſqu'à ce jour ſi une horloge d'Aſtronome a été juſte au point que je demande, beaucoup de hazard y a contribué : j'eſpere remédier à quelques-uns des obſtacles qui s'oppoſent à la juſteſſe de ces machines d'obſervations ; mais je ne me flatte pas d'arriver au dernier degré de perfection.

1685. Pour compoſer un pendule qui remédie de lui-même à ſon alongement, il y a pluſieurs conſidérations à faire ; 1°, pour qu'un pendule compoſé ne s'alonge point, il faut que les ſolidités & les ſurfaces des corps qui les forment ſoient les mêmes ; ſans cette condition, l'air agiſſant ſur une plus grande ſurface (& le corps n'étant pas proportionné à cette ſurface) il pénétrera plutôt les parties de ce corps, lequel s'alongera, tandis que l'autre ſera reſté à peu-près dans la même ſituation : donc dans ce cas, le centre d'oſcillation changera : 2°, Si les verges qui compoſent ce pendule ne ſont pas fortes & groſſes, la lentille étant peſante détruira tout l'effet qui ſeroit réſulté de la combinaiſon de ce pendule ; car au lieu qu'une des verges remonte la lentille, elle ne fera que ſe recourber, & ſon moindre défaut ſera de ne produire aucun effet. 3°, En ſuppoſant encore la lentille trop peſante, relativement à la groſſeur des verges, il en réſultera un autre défaut, qui eſt celui d'affaiſſer les parties de matieres dont ces verges ſont compoſées, enſorte que la dilatation ne ſe fera plus de la même maniere, & que la compenſation ne pourra plus avoir lieu.

CHAPITRE XX.

Précis des Expériences que j'ai faites ſur les dilatations de différents Corps.

1686. POUR faire des expériences ſur les différents métaux, afin de conclure le rapport de leurs dilatations, il ne ſuffit pas d'avoir conſtruit l'inſtrument que nous avons décrit; ces expériences exigent une extrême préciſion, ſans quoi on eſt fort étonné de trouver des réſultats oppoſés, quoique l'on croye avoir opéré de la même maniere : c'eſt ce que j'ai éprouvé pluſieurs fois; car les mêmes degrés de froid & de chaud n'ont pas toujours donné les mêmes extenſions. Ce ſont ces difficultés qui m'ont obligé à répéter ſouvent les mêmes expériences : enfin ayant voulu profiter des froids de Janvier 1760, je m'apperçus qu'en faiſant ces expériences de la même maniere que les années précédentes, je trouvois des réſultats très-différents, ce que j'attribuai particuliérement à la maniere dont la chaleur du poële étoit introduite dans l'étuve; car juſqu'alors c'étoit un tuyau du poële qui montoit à côté de la verge; & comme le thermometre en étoit éloigné, il arrivoit que la chaleur qui frappoit la verge n'étoit pas exactement celle qui frappoit le thermometre; enſorte que ſelon le plus ou moins de vivacité du feu du poële & du temps que duroit l'expérience, la verge & le thermometre s'échauffoient fort différemment.

1687. Voici donc les changements que j'ai faits. 1°, J'ai placé dans l'étuve une plaque courbée à l'endroit où la chaleur qui ſort du tuyau du poële va frapper l'intérieur de l'étuve : cette plaque eſt courbée de maniere que la chaleur redeſcend & ſe diviſe en gerbe, pour remonter également dans toute l'étuve.

1688. 2°, J'ai placé le thermometre (*) tout près de la verge de métal, à la diſtance ſeulement requiſe, pour qu'ils ne ſe touchent pas; enſorte qu'il arrive qu'ils ſont frappés également par la même chaleur.

1689. 3°, Pour partir ſûrement du même degré de froid, j'ai fait faire un tonneau qui a 4 pieds de haut, & 9 pouces de baſe; je le remplis de glace pilée: ainſi en plaçant les verges que je veux éprouver dans ce tonneau, elles prendront exactement la température de la glace.

1690. 4°, Je me ſuis ſervi d'un feu plus modéré & continu pour donner la chaleur à l'étuve; je me ſervois ci-devant du feu de charbon vif; actuellement je me ſers de *mottes à brûler* que font les Tanneurs; ce feu eſt doux, dure long-temps le même, & s'introduit par-là d'une maniere uniforme, qui imite la gradation de la chaleur de l'air: je n'ai employé ces mottes, qui ſont de même groſſeur, que lorſqu'elles ont été également conſumées, au point de ne plus fumer; j'ai eu attention que le temps de l'expérience fût toujours le même, afin d'avoir des réſultats exacts; & je crois pouvoir aſſûrer qu'ils le ſont. Car ayant repété pluſieurs fois les mêmes expériences, j'ai toujours trouvé très-exactement les mêmes réſultats: en conſequence; j'ai recommencé toutes mes expériences, non-ſeulement ſur ces métaux que j'avois obſervés, mais encore ſur le verre, ſur l'or & l'argent, ayant fait tirer une verge d'or & une d'argent de 40 pouces chacune. M. Romily, fort habile Horloger, fut préſent à quelques-unes de mes expériences,

(*) J'ai appliqué ſur la même planche trois thermometres de mercure gradués ſur les diviſions de M. de Réaumur: le premier a ſa boule cylindrique; il peut monter à l'eau bouillante; le ſecond a trois branches & va 39 degrés au-deſſus de la glace; le troiſieme a quatre branches, & peut monter à 74 degrés au-deſſus de la glace.

Ils ſont faits ainſi à pluſieurs branches, afin de les rendre plus ou moins ſenſibles; & pour les comparer avec des verges de différentes groſſeurs, enſorte qu'un degré de chaleur agiſſe avec un égal avantage pour dilater une verge d'une groſſeur donnée, & pour dilater le mercure d'un des thermometres: ainſi, lorſque j'examine dans l'étuve l'alongement d'une verge un peu forte, pour connoître le degré de température qui la fait changer, je me ſers du thermometre qui a la plus grande quantité de mercure ſous la moindre ſurface; & lorſque j'ai une plus petite verge, je me ſers du thermometre à deux branches, lequel a moins de mercure ſous une plus grande ſurface, &c.

l'ayant

l'ayant invité à les voir ; il eut la complaiſance de me procurer les verges d'or & d'argent. Au moyen de ces expériences, je donne ici une table complette & exacte de tous les metaux ; ainſi je ſupprime toutes les expériences que j'ai faites pendant quatre hivers conſécutifs, & pluſieurs détails ſur des matieres compoſées de plomb, d'antimoine, &c : elles ne ſont pas aſſez exactes pour avoir ici place.

17 Mars 1760.

1691. AYANT rempli de glace le tonneau, j'y ai placé différentes verges de même longueur, c'eſt-à-dire, de 3 pieds 2 pouces 5 lignes = 461 lignes, à compter depuis le point fixe qui tient au pilier ſupérieur du pyrometre juſqu'au point où elles agiſſent ſur le rateau ; la largeur de ces verges eſt de 5 lignes, & elles ont trois lignes d'épaiſſeur : il faut remarquer que pour chaque verge que j'obſerve, je ramene le thermometre à la glace, en le couvrant de glace pilée.

EXPÉRIENCE.

1692. J'AI ôté la regle de verre du tonneau, & l'ai placée ſur le pyrometre ; le thermometre à zéro, l'aiguille du pyrometre à 68 degrés de froid. Ayant placé l'étuve, & l'ayant échauffée, le thermometre monta à 27 deg. & l'aiguille du pyrometre à 6 degrés ; ainſi pour 27 degrés du thermometre, l'aiguille du pyrometre a parcouru 62 diviſions du limbe, c'eſt-à-dire, que le verre s'eſt alongé de $\frac{62}{360}$ d'une ligne.

1693. J'ai tiré du tonneau une verge d'acier trempé ; qui étoit revenue bleue, c'eſt-à-dire, qu'elle avoit à peu-près le degré de trempe des reſſorts : l'ayant placée ſur le pyrometre lorſque le thermometre marquoit zéro, & l'aiguille du pyrometre 19 du froid ; par le moyen de l'étuve, je fis monter le thermometre à 27 degrés, le pyrometre à 58 de chaud. Le thermometre ayant donc monté à 27 deg. l'aiguille du pyrometre a parcouru 77 diviſions du limbe ; ainſi l'acier trempé s'eſt alongé de $\frac{77}{360}$ de ligne.

1694. Ayant ôté de même la verge de plomb hors de la glace, & l'ayant placée ſur le pyrometre, lorſque le thermometre étoit à zéro, & l'aiguille du pyrometre à 91 de froid; lorſque le thermometre étoit monté à 27 deg. le pyrometre marquoit 102 de chaud; donc, tandis que le thermometre s'eſt élevé à 27 degrés, l'aiguille du pyrometre a parcouru 193 diviſions du limbe, c'eſt-à-dire, que la verge de plomb s'eſt alongée de $\frac{193}{360}$ de ligne en partant de la glace, & étant chauffée à 27 degrés du thermometre de M. de Réaumur.

1695. Par un procédé abſolument ſemblable, une verge d'étain s'eſt alongée de $\frac{160}{360}$; une verge de cuivre jaune de $\frac{121}{360}$: une verge d'or du titre de 21 karats, tirée à la filiere & très-dure, s'eſt alongée de $\frac{94}{360}$; la même verge recuite au feu pour la ramollir, s'eſt alongée de $\frac{82}{360}$; la verge d'acier trempé, ayant été recuite, s'eſt alongée de $\frac{69}{360}$, ce qui fut trouvé par deux épreuves différentes: une verge de fer battu à froid s'eſt alongée de $\frac{78}{360}$; la même verge recuite, de $\frac{75}{360}$; une de cuivre rouge de $\frac{107}{360}$: une verge de métal compoſé de plomb & d'un ſixieme d'antimoine, s'eſt alongée de 160: un tube de verre de 4 lignes de diametre de $\frac{62}{360}$: une verge d'argent tirée à la filiere de $\frac{112}{360}$.

Table du rapport des dilatations des Métaux.

1696. ACIER recuit 69; fer recuit 75; acier trempé 77; fer battu 78; or recuit 82; or tiré à la filiere 94; cuivre rouge 107; argent 119; cuivre jaune 121; étain 160; plomb 193. Le verre 62; mercure 1235.

1697. Toutes ces verges ont été éprouvées ſans être chargées de poids: dans la ſuite ayant voulu connoître le changement que le poids d'une lentille pouvoit cauſer à l'extenſion des verges, j'ai fixé à une verge d'acier une lentille de 35 liv. & j'ai trouvé que l'extenſion étoit ſenſiblement la même; mais que le froid ne raccourciſſoit pas la verge de la même quantité que la chaleur l'avoit dilatée; je ne rapporte pas ici ces expériences, parce qu'elles ne m'ont pas paru aſſez exactes.

1698. Je ſupprime auſſi, pour abréger, les détails d'expériences que j'ai faites ſur des verges de bois de différentes eſpeces ; il ſuffit de dire ici, que le bois eſt ſujet à des écarts très-conſidérables par le chaud & le froid, par l'humidité & la ſéchereſſe, de ſorte qu'il eſt très-peu propre à faire des verges de pendules.

1699. Quoique les métaux ſe dilatent ſelon toutes leurs dimenſions, nous n'avons conſidéré leur extenſion que ſelon leur longueur, parce que c'eſt la ſeule dont nous ayons beſoin ; car il importe fort peu que la verge d'une horloge ſoit plus groſſe en été qu'en hiver, mais il n'en eſt pas de même de la longueur, ainſi que nous le verrons dans le chapitre ſuivant ; au reſte, ſi on vouloit ſavoir combien une verge d'un métal donné eſt devenue plus épaiſſe ou plus large par tel degré de chaleur, il ne faudroit que comparer ſon étendue à celle de la verge de même métal de notre table (1696) ; on en concluroit facilement l'extenſion de la dimenſion demandée.

Remarques ſur la maniere dont ces Expériences ont été faites.

1700. J'AI eu ſoin de modifier la chaleur de l'étuve & de l'arrêter long-temps au même point, au moyen de la baſcule du tuyau du poële, afin de fixer le point de comparaiſon de chaleur que j'ai pris, qui eſt ici de 27 degrés, auſſi ſûrement que l'autre point qui eſt la glace. Quant à ce qu'on pourroit objecter, que dans le tranſport qui ſe fait à chaque expérience depuis le tonneau juſqu'au pyrometre, la verge auroit pu changer de température, je réponds que le tonneau étoit placé fort près du pyrometre, & que cette opération ſe faiſoit très-vîte ; il faut remarquer de plus que la verge que l'on tire du tonneau, reſte environnée d'eau glacée, qui conſerve la verge froide, tellement qu'après l'avoir placée ſur le pyrometre, l'aiguille reſte un inſtant immobile ; enſorte que je puis aſſurer qu'elle ne peut pas changer dans cet intervalle de la $\frac{1}{1000}$ partie d'une ligne, c'eſt-à-dire,

moins de la moitié d'une diviſion du limbe.

1701. Dès les premieres expériences que nous fimes ſur les dilatations des métaux, nous avions entrepris de noter, à chaque degré de chaleur du thermometre, la dilatation de la verge, laquelle n'eſt point uniforme; & nous avions même commencé des tables que nous ne rapporterons pas ici, par la raiſon que nous ne les croyons pas exactes. Nous nous réſervons de ſuivre cet objet dans la ſuite, pour ſervir à conclure la quantité des variations d'une horloge, ſelon que la verge eſt expoſée à un degré déterminé de température; ce que l'on peut connoître au moyen d'un thermometre placé à côté de la verge dans la boîte de l'horloge; & comme un hiver un peu rude eſt néceſſaire pour faire cette recherche, nous ne pourrons pas en joindre ici les réſultats: quant aux loix que ſuit l'intenſion des corps, nous ne chercherons point à les marquer, la table pourra ſervir à chercher ces loix, &c.

Expérience faite le 15 Mai 1760, ſur la dilatation d'une Verge de fer doré.

1702. QUELQUES perſonnes ont avancé, qu'en dorant des verges de fer ou d'acier, on empêchoit par ce moyen la dilatation de la verge; ce qui doit paroître peu vraiſemblable, puiſque, 1°, l'or ſe dilate plus que le fer; 2°, dès qu'il ſe dilate, il reçoit la chaleur, ce qui ne peut empêcher le feu de s'introduire à travers les pores de l'or, & par conſéquent de pénétrer dans ceux du fer. Ces raiſons m'avoient empêché de faire une expérience pour prouver la vérité, & ce n'eſt qu'à la ſollicitation de M. ***, amateur de méchanique, que je me ſuis décidé à faire cette expérience; & j'ai cru devoir d'autant plus le faire, que M. *** appuyoit le ſentiment que je combattois. J'ai donc fait dorer la verge de fer recuit, dont je me ſuis ſervi dans mes expériences, & dont la dilatation eſt de lig. : 0 : $\frac{75}{360}$ pour 27 degrés de différence dans la température priſe de la glace au 27 du thermometre de M. de Réaumur.

1703. J'ai fait remplir le tonneau de glace, & pris les

mêmes précautions que pour les expériences précédentes; ayant ôté la verge dorée de la glace, je l'ai appliquée ſur le pyrometre, le thermometre étant à zéro, & le pyrometre à 95 deg. de froid: par le moyen de l'étuve, le thermometre étant monté à 27 deg. le pyrometre marquoit 21 deg. de froid; le thermometre ayant parcouru 27 deg. depuis la glace, la verge s'eſt alongée de $\frac{7}{360}$; il n'y avoit donc qu'un 360e de ligne de moins, que ce qu'on avoit trouvé avec la même verge avant qu'elle fût dorée. Cette petite différence ne peut être attribuée à l'effet de l'or; car ſi l'or avoit pu apporter quelques changements, comme il ſe dilate plus que le fer, il eût dû en augmenter l'extenſion; mais cet effet n'a pu ſe produire ici, puiſqu'il faudroit ſuppoſer l'or aſſez épais & aſſez fort pour aſſujettir le fer à ſes variations: nous avons donc prouvé par le raiſonnement & par l'expérience, qu'une verge dorée s'alonge comme ſi elle ne l'étoit pas.

1704. Quant à ceux qui prétendent qu'en employant des groſſes verges, ils pourroient corriger pendant quelques temps les écarts de l'horloge, il eſt aiſé de leur prouver le contraire; car, 1°, il eſt évident que les pores d'une groſſe barre de fer (ou de tout autre métal) ſont également diſpoſés à recevoir la chaleur que ceux d'une petite barre; toute la différence qu'il y aura, c'eſt qu'il faudra plus de temps pour pénétrer la grande barre que la petite, parce que les ſurfaces ne ſont pas proportionnelles aux quantités de matiere (1563 *& ſuiv.*) donc un changement ſubit agira plus efficacement ſur la petite barre pour la dilater ou contracter, que ſur la grande; mais de telles variations n'ont preſque jamais lieu ſur une horloge renfermée dans une chambre; 2°, les changements qui ſe font dans l'air ſe communiquent de proche en proche, & jamais aſſez ſubitement pour que la groſſe barre applicable à une verge de pendule n'en ſoit preſque auſſi-tôt pénétrée que la petite; car j'ai obſervé avec mon pyrometre, que l'impreſſion du chaud & du froid ſur le fer, l'acier ou le cuivre, étoit beaucoup plus prompte que ſur les thermometres de mercure, & que ſur ceux d'eſprit-de-vin, dont l'effet eſt encore plus

lent ; c'eſt pour cette raiſon que j'ai toujours fait uſage d'un thermometre à 4 branches (1688) remplies de mercure : enfin s'il arrive en effet qu'une groſſe barre ſoit un peu plus de temps à être pénétrée & dilatée par une chaleur donnée, elle conſerve auſſi plus long-temps cette impreſſion ; ainſi cette méthode ne corrige nullement les écarts de l'horloge cauſés par la différence de la température.

CHAPITRE XXI.

Calcul de la variation des Horloges, cauſée par l'extenſion ou par la contraction de la verge du Pendule.

1705. LES expériences que je viens de rapporter ſur l'extenſion & contraction des métaux par le chaud & le froid, ſervent à nous faire eſtimer les écarts que la différence de la température peut produire aux horloges, & delà à nous faire ſentir la néceſſité de compoſer des verges de pendules qui ſoient propres à corriger ces écarts.

1706. Nous allons calculer dans ce Chapitre les écarts que le chaud & le froid produiſent aux horloges par une température donnée. Nous traiterons dans les deux Chapitres ſuivants des moyens de faire des verges compoſées, pour corriger les variations des horloges produites par les différentes températures.

1707. Selon l'expérience rapportée, (article 1696) une verge de fer qui a 461 lig. de longueur, s'alonge de lig. 0: $\frac{78}{360}$, lorſqu'on la met à la glace, & qu'on la fait enſuite chauffer juſqu'à ce qu'elle éprouve 27 degrés au-deſſus : or la longueur moyenne de la verge du pendule à ſecondes, depuis le point de ſuſpenſion au centre (*) de la lentille, eſt d'environ 37

(*) Quoique la verge du pendule deſcende ordinairement au-deſſous de la lentille,

pouces = 444 lignes; ſi donc 461 ſe dilate de $\frac{78}{360}$ lig. 444 ſe dilatera d'environ $\frac{73}{360}$.

1708. Pour trouver l'écart que ce changement dans la longueur du pendule doit cauſer à l'horloge, il faut premiérement calculer combien le pendule à ſecondes, qu'on alonge d'une ligne, fait de vibrations par heure: pour cet effet, on ſe ſervira de la formule du problême (art. 1525), on a donc $\sqrt{881} : \sqrt{883} :: x : 3600$; & faiſant l'extraction des deux premiers termes; $29,681 : 29,715 :: x : 3600$; multipliant les extrêmes & diviſant par le terme moyen connu, on a la valeur de $x = 3595\ \frac{26171}{29715}$, c'eſt-à-dire, qu'un pendule qui a 3 pieds 9 lig. $\frac{1}{2}$, ou une ligne de plus que celui qui bat les ſecondes, fait $3595\ \frac{26171}{29715}$ vibrations par heure, ou 4 vibrations $\frac{3544}{29715}$ de moins que le pendule à ſecondes; multipliant cette quantité par 24, on aura le nombre de ſecondes dont l'horloge retardera en 24 heures pour une ligne d'allongement: on trouve $98 + \frac{25920}{29715}$, c'eſt fort près de 99 ſecondes.

1709. Par une ſuite de ce calcul, on voit que pour faire avancer une horloge (dont le pendule a 3 pieds 8 lig. $\frac{1}{2}$) d'une ſeconde en 24 heures, il faut alonger ou accourcir le pendule d'un $\frac{1}{99}$ de ligne; & pour la facilité du calcul, on peut eſtimer, ſans erreur ſenſible, que pour faire avancer ou retarder l'horloge à ſecondes d'une ſeconde en 24 heures, il faut hauſſer ou baiſſer la lentille d'un centieme de ligne.

1710. Maintenant, pour ſavoir combien 27 degrés de différence dans la température produiſent d'écart dans une horloge, il faut ſe ſouvenir que 360 deg. par l'aiguille du pyrometre correſpondent à une ligne d'alongement ou de raccourciſſement (1676). Si donc on place ſur le pyrometre un pendule à ſecondes, qui faſſe parcourir 360 degrés à l'aiguille, on ſera aſſuré qu'un tel régulateur auroit fait varier l'horloge de 99 ſecondes en 24 heures; donc un degré du pyrometre répond à la 360me partie de 99 ſecondes: ainſi en réduiſant

je n'en compte la longueur que juſqu'au centre, par la raiſon qu'en même temps que cette partie compriſe du centre de la lentille au-deſſous ſe dilate, le rayon de la lentille ſe dilate auſſi & même dans un plus grand rapport.

99 ſecondes en tierces (*), & diviſant ce produit par 360, on aura un quotient qui marquera à combien de tierces de temps correſpond un degré du pyrometre; on trouve 16 tierces $\frac{1}{2}$; donc le pendule qui s'alonge de $\frac{1}{360}$ de ligne, doit retarder de 16 tierces $\frac{1}{2}$ en 24 heures : mais nous venons de voir (1707) qu'une verge de pendule à ſecondes, miſe à la glace, & qui paſſe enſuite à 27 deg. au-deſſus, s'alonge de $\frac{73}{360}$; donc l'horloge à laquelle ce pendule ſeroit appliqué, retarderoit de 73 fois 16 tierces $\frac{1}{2}$, c'eſt-à-dire, de 20 ſecondes 4 tierces $\frac{1}{2}$ en 24 ^{h}; d'où il ſuit qu'une horloge qui eſt reglée en été à 27 deg. de température, doit avancer en hiver au terme de la glace de 20 ſecondes 4 tierces $\frac{1}{2}$ en 24 heures, & ainſi de ſuite à proportion que la différence dans la température eſt plus grande ou plus petite.

1711. D'où il ſuit que ſi l'on place à côté du pendule d'une horloge à ſecondes un thermometre gradué comme celui de M. de Réaumur, on pourra juger, par le changement du thermometre, des variations que la différence dans la température produit à l'horloge.

1712. Quand on connoît la quantité dont il faut hauſſer ou baiſſer la lentille d'une horloge à ſecondes, pour produire un écart donné en 24 heures, &c, on en conclut facilement la quantité, dont il faut hauſſer ou baiſſer la lentille de tout autre pendule court ou long, afin de produire le même écart dans le même temps; ce que l'on a par le principe ſuivant qui eſt une ſuite des loix établies ſur les pendules.

PRINCIPE.

1713. *Les quantités dont il faut alonger ou accourcir des pendules quelconques pour produire le même écart, ſont comme les longueurs de ces pendules.*

1714. Sachant donc que pour faire retarder l'horloge à ſecondes d'une minute en 24 heures, il faut alonger le pendule de $\frac{60}{100}$ (1709) $= \frac{6}{10}$, on fera la proportion : La longueur du

(*) Une tierce eſt la 60e partie d'une ſeconde (4).

pendule

pendule à ſecondes eſt à la longueur du pendule donné, comme la quantité ($\frac{6}{10}$) dont il faut alonger le pendule à ſecondes pour produire un écart donné, eſt à la quantité dont il faut alonger le pendule donné pour produire le même écart.

1715. On demande, par exemple, combien on doit hauſſer la lentille d'un pendule qui fait 10800 vibrations par heure, pour faire avancer l'horloge d'une minute en 24 heures (un tel pendule eſt 9 fois plus court que celui à ſecondes, puiſqu'il fait 3 vibrations, tandis que celui à ſecondes en fait une); on aura donc la proportion $9 : 1 :: \frac{6}{10} : x = \frac{6}{90} = \frac{1}{15}$. C'eſt-à-dire, qu'il faudra accourcir ce pendule de la 15me partie d'une ligne pour faire avancer l'horloge d'une minute en 24 heures.

1716. Si on demande la quantité dont il faut toucher au pendule 4 fois plus long que celui à ſecondes, pour le faire avancer d'une minute en 24 heures, on fera la proportion; $1 : 4 :: \frac{6}{10} : x = \frac{24}{10} = 2$ lig. $\frac{4}{10}$.

1717. Il ſuit du principe ci-deſſus que l'extenſion & contraction des verges de pendules produiſent le même écart ſur les longs & les courts pendules, c'eſt-à-dire, que ſi on expoſe deux horloges, l'une ayant un court pendule & l'autre en ayant un long, aux mêmes différences de température, ces deux horloges avanceront ou retarderont des mêmes quantités: car puiſque les quantités dont il faut alonger ou accourcir un pendule quelconque pour produire un écart donné, ſont proportionnelles aux longueurs des pendules (1713), & que d'ailleurs l'extenſion ou contraction des verges eſt auſſi proportionnelle aux longueurs des pendules, ainſi que nous le ferons voir, Chapitre XXIII, il eſt évident que les écarts produits par une même différence de température ſont les mêmes: il n'y a donc aucune préférence à donner au long ou court pendule, par rapport à l'extenſion ou contraction de la verge; car ſi d'un côté un pendule à ſecondes ſe dilate 9 fois plus que celui qui fait 3 vibrations par ſecondes; de l'autre, celui-ci, avec 9 fois moins de dilatation, produit un retard qui eſt exprimé par le quarré du nombre des vibrations dans le même

temps, c'eſt-à-dire dans le cas actuel, comme 9 à 1; donc le temps eſt le même.

CHAPITRE XXII.

Deſcription & calcul d'un Pendule compoſé, pour remédier à la dilatation & contraction de la Verge.

1718. LES expériences rapportées dans le Chapitre XX, & les calculs faits d'après dans le Chapitre précédent, prouvent ſuffiſamment la néceſſité de corriger les effets que la chaleur & le froid produiſent ſur les verges des pendules, ſur-tout pour celles qui ſont appliquées aux horloges d'obſervation des Aſtronomes. Nous allons expliquer la maniere d'y parvenir & de calculer exactement les dimenſions que l'on doit donner à chaque ſorte de verges, afin de produire une parfaite compenſation.

1719. Il eſt conſtant d'abord, par ce que nous avons vu ſur les alongements des métaux, qu'il eſt plus avantageux d'employer de l'acier que du fer, pour faire des verges de pendule, puiſqu'il s'alonge moins que les autres métaux; & qu'ayant d'ailleurs plus de dureté, il eſt moins ſuſceptible de flexion & d'affaiſſement par le poids de la lentille; mais s'il eſt préférable d'employer de l'acier dans le cas où la verge du pendule eſt ſimple, il ne l'eſt pas moins, lorſque l'on veut compoſer une verge propre à compenſer l'effet de la dilatation & contraction; car la verge qui doit compenſer cet effet, devra moins s'alonger; par conſéquent elle aura plus de corps, & d'autant moins à craindre l'affaiſſement cauſé par le poids de la lentille.

1720. Le meilleur moyen à mettre en uſage pour éviter

& l'affaiſſement des parties de la verge & ſa flexion, c'eſt, 1°, de ſe ſervir, comme je viens de le dire, de verges d'acier; c'eſt, 2°, de donner la plus grande longueur poſſible au métal qui doit compenſer l'alongement; & dans ce cas, la dilatation de ce métal devra d'autant moins ſurpaſſer celle de la premiere verge d'acier; ainſi ce corps aura d'autant plus de dureté: enfin, c'eſt d'aſſembler les verges de maniere qu'en agiſſant ſéparément les unes des autres ſelon leur longueur, elles ne puiſſent s'écarter ni fléchir: c'eſt ce que l'on verra ci-après, en ſuivant nos tentatives qui nous ont mené par un chemin à la vérité un peu long, à toutes les précautions requiſes pour avoir un pendule qui compenſe auſſi parfaitement qu'il eſt poſſible les variations produites par la différence des températures.

Deſcription de la premiere Verge, que j'ai compoſée, pour éviter l'alongement du Pendule par le chaud, ou ſon raccourciſſement par le froid.

1721. CE Pendule repréſenté (*Planche XXV, fig.* 2), eſt compoſé de trois verges: la premiere *AG* eſt d'acier; la ſeconde *HI* de cuivre; & la troiſieme *KV* auſſi d'acier; ces trois verges ſont aſſemblées de maniere qu'elles ne peuvent s'écarter les unes des autres d'aucun côté; pour cet effet, elles ſont aſſemblées par des rainures faites dans la longueur des verges; la boîte *Z* (*fig.* 1) & les brides *E*,*F* les retiennent enſemble, de ſorte que ces verges ne peuvent que monter & deſcendre, ce qu'elles font ſéparément les unes des autres.

1722. La verge *AG* porte en *A* la vis qui paſſe à travers la piece ou couteau *T* (*fig.* 1, & vue *Pl. XXVI. fig.* 7).

1723. L'écrou *V* retient cette verge avec le couteau, enſorte que le point de ſuſpenſion du pendule eſt ſitué à l'angle du couteau; le bout inférieur *G* de la verge *AG* (*Pl. XXV*), porte le talon *G*, ſur lequel poſe le bout de la verge de cuivre *HI*; le bout ſupérieur *I* de cette verge, porte une cheville qui paſſe à travers le levier *B*, vu en perſpective (*fig.* 3);

ce levier eſt mobile en *c* ſur une eſpece de dent portée par la piece *C*, ou en perſpective (*fig.* 3); la troiſieme verge *VK*, porte en *a* une cheville qui paſſe à travers l'entaille du levier; le bout inférieur de cette verge porte le talon *V* qui entre dans la lentille *X*, (*fig.* 1), laquelle eſt fixée au talon par le moyen d'une cheville *X* qui la traverſe par ſon centre; la peſanteur de la lentille fait donc deſcendre la verge *VK*, juſqu'à ce que la cheville *a* preſſe le levier *B*, & que l'entaille de celui-ci preſſe la cheville *b* portée par la verge de cuivre, & que par conſéquent le bout inférieur *H* poſe ſur le talon *G* de la verge *AG*.

1724. Si donc on ſuppoſe cet aſſemblage ainſi ſuſpendu, & que dans cet état on faſſe chauffer le pendule, on doit voir que lorſque la chaleur alonge la verge *AG* de 13 parties (*) la verge *HI*, que je ſuppoſe de même longueur, s'alongera de 22 parties; or la partie *I* de la verge de cuivre ſera donc montée de 9 parties au-deſſus d'un point correſpondant de la verge *AG*, puiſque l'excédent de ſon alongement ſur la verge *AG* eſt 9, & que d'ailleurs le talon *G* la retenant par en bas, il faut que cet excédent monte au-deſſus de *I*; or la cheville *b* fera parcourir au levier *B* au point *a*, un eſpace qui ſera à celui parcouru par la cheville *b*, comme *ac* eſt à *bc*. Ainſi la partie *a* de l'entaille du levier remontera la verge *VK* d'une plus grande quantité que les 9 parties excédentes en *d*; donc en ſuppoſant que la verge *VR* ne s'eſt pas alongée, la lentille que cette verge porte ſeroit remontée de 9 parties qui ſeroient encore augmentées par la différence qu'il y a de l'eſpace parcouru en *a*, à celui parcouru en *b*; mais pendant que les deux verges *AG*, *HI*, ſe ſont alongées, l'une de 13, l'autre de 22, la verge *VK* que j'ai ſuppoſée de même longueur, s'eſt auſſi alongée de 13 parties: ainſi pour que la lentille ne ſe trouve ni plus haute ni plus baſſe par l'effet d'une variation de température dans

(*) Nous ſuppoſons ici que la dilatation de l'acier eſt à celle du cuivre, comme 13 eſt à 22, ſelon que nous l'avions trouvé par nos premieres expériences; & quoique les dernieres donnent un rapport différent, comme la différence n'eſt pas conſidérable, nous laiſſons ſubſiſter ce calcul qui étoit fait avant les dernieres expériences.

l'air, il faut que le point *a* du levier ait parcouru un eſpace exprimé par 13, tandis que *b* en a parcouru un exprimé par 9; voilà en gros l'effet de ce méchaniſme. Nous avons ſuppoſé que les verges étoient toutes trois de même longueur ; or dans ce cas, le levier devroit en effet parcourir des eſpaces dans le rapport que nous avons dit ; mais comme la verge *KV* eſt auſſi d'une différente longueur, les dimenſions du levier devront changer : nous allons donc les déterminer par le calcul ſuivant.

1725. La verge *AG* a trois pieds une ligne de longueur, priſe du point de ſuſpenſion juſqu'au talon qui porte les verges de cuivre, leſquels réduits en lignes donnent 433 lig. la verge de cuivre *HI* a 2 pieds 11 pouces 4 lignes, priſe de la cheville *b* au talon *G* = 424 lignes.

1726. La verge d'acier *KV* a 3 pieds 3 lignes depuis la cheville *a* au centre de la lentille, ce qui fait 435 lignes : on fera donc la proportion ſuivante pour trouver l'alongement de la verge *AG*, laquelle eſt plus longue qu'on ne l'avoit ſuppoſée, en diſant : Si une verge d'acier qui a 424 lignes (longueur de la verge de cuivre), s'eſt alongée de 13 parties, combien s'alongera une verge *AG*, qui a 433 lignes ; 424 : 13 :: 433 : $x = 13\ \frac{117}{424}$. On trouve qu'une telle verge s'eſt alongée de $13\ \frac{117}{424}$: or le cuivre s'eſt alongé de 22 parties pendant ce même temps ; il faut donc trouver l'excès de ſon alongement ſur la verge *AG* ; cet excès eſt de 8 parties plus $\frac{307}{424}$.

1727. On trouvera auſſi l'alongement de la verge *KV*, par la même proportion 424 : 13 :: 435 : *x* ; on trouve que cette verge s'eſt alongée de $13 + \frac{143}{424}$.

1728. Pour que le chaud ne faſſe ni monter ni deſcendre la lentille, il faut que l'eſpace parcouru par le point *a* de la verge *KV*, ſoit à l'eſpace parcouru par le point *b* de la verge *HI*, comme l'alongement de la verge *KV*, eſt à l'excès de la verge de cuivre ſur la verge *AG* ; par conſéquent la longueur *ac* du levier doit être à la longueur *bc* dans le même rapport.

1729. J'appelle *x* la diſtance de *a* en *c* ; on aura donc

la proportion ; $ax : bx :: 8\frac{307}{424} : 13\frac{143}{424}$; & réduiſant au même dénominateur, on a $ax : bx :: 3699 : 5655$.

1730. Maintenant pour trouver la diſtance du point c à celui b, on le fera de la maniere ſuivante : on nommera a l'intervalle connu de a en b ; la proportion deviendra $x : a + x :: 3699 : 5655$; donc en multipliant les extrêmes & les moyens, on aura $5655\,x = 3699\,a + 3699\,x$ & $5655 - 3699\,x = 3699\,a$; ou $1956\,x = 3699\,a$, donc $x = \frac{3699\,a}{1956}$.

1731. Or, en ſuppoſant que la diſtance de a en b eſt de 6 lignes, qui réduites en 12emes ſont 72, on multipliera 3699 par 72, & on diviſera le produit par 1956 ; on aura pour quotient $\frac{136}{12}$, qui ſont 11 lignes $\frac{4}{12}$; c'eſt-à-dire, que la diſtance du point b au centre de mouvement c du levier ſera de 11 lig. $\frac{1}{3}$; & la diſtance de a à c ſera 17 lig. $\frac{1}{3}$; les eſpaces parcourus par a & b, ſeront donc entr'eux comme 5655 eſt à 3699 ; le froid & le chaud ne changeront donc pas la diſtance du centre de la lentille au point de ſuſpenſion.

1732. Il faut au reſte obſerver, que quoique le calcul donne exactement le rapport cherché, il peut fort bien arriver que la différence d'alongement d'acier au cuivre ne ſoit pas exactement, comme nous l'avons dit ; car les différentes ſortes d'acier & de cuivre changent ces rapports ; d'ailleurs les verges étant chargées d'une lentille plus ou moins peſante, ſe dilateront différemment : c'eſt pour ſuppléer à cet obſtacle que j'ai diſpoſé le levier Cc, de maniere à pouvoir éloigner ou approcher de b le centre de mouvement c, afin de changer le rapport entre les eſpaces parcourus par a & b ; pour cet effet, j'ai placé dans l'épaiſſeur de la verge AG, la vis de rappel D, qui fait mouvoir le levier C ; or les chevilles a, b gardent toujours la même diſtance entr'elles, ainſi la diſtance bc devenant plus grande ou plus petite, les eſpaces parcourus par a & b ſeront dans des rapports différents.

Expérience faite le 14 Janvier 1760, ſur le Pendule que nous venons de décrire, & dont la Lentille peſoit 63 livres.

1733. J'AI appliqué ce pendule tout monté ſur le pyrometre; le froid extérieur qui le frappoit étoit de 5 degrés au-deſſous de la glace; l'aiguille du pyrometre étoit à zéro: ayant mis l'étuve, le thermometre eſt monté à 32 degrés, & l'aiguille du pyrometre a parcouru $\frac{80}{160}$; la verge du pendule s'eſt donc autant alongée que ſi elle eût été toute ſimple: je ne pus attribuer cet effet qu'à l'affaiſſement prodigieux que cauſe la lentille. Après que j'eus ôté l'étuve, le même degré de froid ne fut pas capable de remonter la lentille, enſorte que le pendule reſta plus long de $\frac{18}{360}$ de ligne: J'ai trouvé le même défaut aux pendules de Rivaz, que j'ai examinés; un entr'autres, qui appartient à M. Camus; après l'expérience, il reſta plus long qu'auparavant de $\frac{27}{360}$ de ligne.

1734. Je remis à corriger mon pendule juſqu'au mois de Janvier 1761: je pris alors le parti de refaire une lentille plus légere; elle a 8 pouces de diametre, 22 lignes d'épaiſſeur, & peſe 21 livres. Après avoir mis le pendule tout monté dans la glace pilée, & laiſſé pendant quelques heures, je l'ai enſuite appliqué ſur le pyrometre, mis l'étuve & fait chauffer; le thermometre eſt monté a 36 degrés, & l'aiguille du pyrometre a parcouru 12 degrés; j'ai ôté l'étuve, & le pendule a exactement repris la même longueur, expoſé au froid de la glace; ce qui prouve que les écarts qu'il faiſoit auparavant étoient produits par l'affaiſſement de la lentille: il reſtoit cependant encore un petit écart produit par la chaleur; mais ayant calculé de nouveau les dimenſions du pendule, d'après nos dernieres expériences, qui déterminent les rapports de dilatations de l'acier au cuivre, comme 74 eſt à 121, au lieu de 13 à 22, que nous avions employés; enfin, il y avoit erreur dans le calcul: j'ai donc trouvé que la diſtance du centre de

mouvement du levier à la cheville *b*, doit être de 8 lig. $\frac{5}{12}$; je l'ai donc rapproché en conſéquence, & remis de nouveau le pendule dans la glace, enſuite ſur le pyrometre; il ne s'eſt alongé que de $\frac{8}{360}$ pour 47 deg. de chaleur: or cette petite variation eſt produite par la preſſion de la lentille, laquelle agit aſſez fortement ſur la verge de cuivre pour diminuer ſon extenſion, & par conſéquent pour empêcher une exacte compenſation; car quoique cette lentille ne peſe que 21 liv. & que les verges ſoient fortes, comme l'action de la lentille ſur la verge de cuivre eſt augmentée en raiſon de la plus grande longueur du levier *a c* ſur *b c*, il arrive qu'elle agit, non avec 21 liv. mais avec 34 liv. la lentille eſt donc encore trop peſante relativement à la force des verges. Nous établirons plus exactement ci-après les limites de la maſſe qu'une verge donnée peut ſupporter ſans s'affaiſſer.

Conſtruction d'une Verge de Pendule, compoſée de deux regles: Expériences faites ſur cette Verge.

PLANCHE XXII. FIGURE 2.

1735. CE pendule eſt formé par deux verges ſeulement: la verge *B C* eſt d'acier; elle porte le couteau *N*, qui ſert à la ſuſpendre ſur des couſſinets d'acier. *E D*, eſt une verge de cuivre, dont la partie ſupérieure poſe contre le talon fait à la verge d'acier; la partie inférieure *D* porte un lardon *a* qui agit ſur le levier *G*, mobile en *G*, & dont l'autre partie agit ſur la cheville *c* qui tient à la piece *F* à laquelle eſt ſuſpendue la lentille; ainſi lorſque le cuivre par ſon alongement agit ſur le levier *G*, celui-ci remonte la lentille qui, portée, comme je viens de le dire, par la piece *F*, peut monter & deſcendre ſur l'aſſemblage (*fig.* 3).

1736. La fourchette *F R* (*fig.* 5), porte deux chevilles; celle *c* traverſe la fente *c* faite au bas du pendule vu (*fig.* 3);

&

& l'autre *m* traverſe la fente *m* de la même figure 3 : la fourchette peut par ce moyen monter & deſcendre, ſelon la longueur du pendule, & ſans pouvoir vaciller : la cheville *c* eſt ſaillante en dehors des deux côtés de la fourchette, afin de recevoir l'action du levier *G* (*fig.* 2), & vu en perſpective & de profil (*fig.* 4) : on voit que ce levier eſt fait en fourchette par un bout, afin de pouvoir embraſſer les deux côtés de la verge *C* (*fig.* 3) & de la fourchette *F* (*fig.* 5) ; de cette maniere ſon action ſe fait avec une moindre *flexion* ; ce levier *G* eſt mobile ſur une cheville qui traverſe le trou *g* fait à la verge *C* (*fig.* 3).

1737. Pour empêcher que le bas de la verge de cuivre *D* ne s'écarte de celle d'acier, cette derniere porte une petite *languette h* (*fig.* 3), qui entre dans la fente *i*, faite à la verge de cuivre : ces verges ne peuvent donc ſe mouvoir que ſelon leur longueur ; elles ſont retenues dans le reſte de leur longueur par les brides *I*, *K*, *L*, *M* (*fig.* 2).

1738. Le lardon *a* (*fig.* 2) ſe meut ſelon ſa longueur, par le moyen de la vis de rappel *d* ; cet effet eſt néceſſaire pour chercher le point de contact convenable pour la compenſation (1732).

1739. *O P* (*fig.* 2) eſt une portion de cercle, graduée pour ſervir à marquer les changements de température que le pendule éprouve : l'aiguille *g h*, ſert à marquer ces changements ; cette aiguille mobile en *g*, ſur une broche attachée à la verge de cuivre, porte un petit talon qui poſe ſur une cheville qui eſt fixée ſur la fourchette *F R* ; ainſi le mouvement de la fourchette, produit par l'excès de dilatation de la verge de cuivre, fait mouvoir l'aiguille de cette eſpece de thermometre.

1740. *T* (*fig.* 5) eſt une piece qui ſe met au bas de la lentille, pour empêcher que l'angle de la lentille ne porte immédiatement ſur l'écrou ; cette piece *T* porte un index, au moyen duquel on voit de combien on tourne l'écrou ; l'écrou eſt gradué comme on le voit en *Q* (*fig.* 5).

1741. On voit qu'un tel pendule ſeroit très-défectueux,

à moins que l'on n'eût grand ſoin de proportionner la peſanteur de la lentille à la force des verges ; car ſi la lentille peſe 40 liv. elle agira avec une force de 130 liv. puiſque, pour la compenſation, il faudroit que le lardon *a* agit à 1 lig. $\frac{10}{11}$ du centre du levier *G*, pendant que *Gc* de ce levier auroit 6 lig. ainſi l'action de la lentille tend à écarter le talon (*fig.* 2), à faire fléchir & affaiſſer les verges ; c'eſt ce que j'ai vu par expérience, en appliquant le pendule ſur le pyrometre, & en faiſant appuyer le crochet *A* ſur le levier du pyrometre ; alors ſi on appuyoit ſur la lentille, elle deſcendoit & reſtoit au point où on l'avoit conduite ; & ſi on la ſoulevoit, elle faiſoit la même choſe ; de maniere qu'elle varioit de près d'une demi-ligne en tout, ce qui eſt un très-grand défaut, qui rend préférable une verge ſimple ; car ſi foible qu'elle ſoit, elle n'a pas un tel inconvenient : les verges que j'avois employées étoient cependant fortes, & j'avois réduit la lentille de 21 liv. à 15 liv. Or ayant appliqué ce pendule ſur le pyrometre, & fait paſſer du froid au chaud, il a fait des écarts beaucoup plus grands que n'auroit fait une ſimple verge. Pour faire uſage d'un tel pendule, il faut donc employer des verges extrêmement fortes, & une lentille très-légere ; mais on fera encore mieux de n'exécuter jamais un tel pendule.

Deſcription du Pendule à Canon de M. Rivaz.

1742. LA (*fig.* 9, *Pl. XXIII*) repréſente ce pendule tout monté avec ſa ſuſpenſion. *AB* eſt un canon de fuſil, dont le bout ſupérieur *B* eſt taraudé en dedans pour recevoir la vis *d* de la piece de ſuſpenſion *cd* (*fig.* 10) ; c'eſt ſur cette piece ou fourchette que ſe fixe en *c* le couteau qui ſe meut dans la gouttiere du ſupport *b* vue en *a* & *b* (*fig.* 10) : ce ſupport ſe meut ſur le bout prolongé des vis *ef* (*fig.* 9), enſorte que le pendule prend facilement ſon aplomb. Pour empêcher que les côtés de la fourchette *c* (*fig.* 10) ne frottent ſur les côtés du ſupport, celui-ci eſt traverſé par une cheville qui entre dans une petite entaille du couteau, enſorte qu'il a ſeulement la liberté de ſe mouvoir ſur lui-même, ſans pouvoir ſe déplacer ſur ſa longueur.

1743. *CD* eſt le canon de *compoſition métallique*; il entre juſte dans *AB*, & poſe ſur l'extrémité inférieure du canon de fuſil: le canon *CD* eſt percé dans ſa longueur, pour y laiſſer paſſer librement la broche de fer (*fig.* 11), dont le talon *E* poſe ſur l'extrémité ſupérieure du canon de métal; l'autre bout de cette verge eſt taraudé pour recevoir l'écrou qui porte la lentille.

1744. Pour qu'un tel canon métallique compenſe la dilatation de celui de fer, il faut que ſon extenſion ſoit plus que double de celle du fer, c'eſt-à-dire, qu'il faut que le canon métallique ſoit preſque entierement de plomb (1696); car ſi on mêle un peu trop d'antimoine pour le durcir, il ne ſe dilatera pas ſuffiſamment; or ſi on emploie du plomb, il faudra que ce canon ſoit très-gros & la lentille légere, ſans quoi le poids de celle-ci affaiſſeroit le métal: j'avois fait quelques recherches là-deſſus, & j'étois parvenu à faire un métal qui ſe dilatoit dans ce rapport convenable; mais il eſt très-difficile de faire deux canons de ſuite qui ayent la même extenſion; car ſi en les fondant, on chauffe plus ou moins la matiere, elle n'eſt plus extenſible de la même quantité: d'ailleurs ces pendules ne peuvent, indépendamment de cet obſtacle, procurer une grande juſteſſe, à cauſe de l'extenſion différente de la lentille, de la chaleur qui n'agit pas en même temps ſur toutes les parties du pendule, &c: cependant ſi ces pendules ne peuvent ſervir pour les horloges aſtronomiques, il eſt certain qu'on pourroit les employer dans les horloges ordinaires; cela ſeroit ſans contredit préférable aux ſimples verges: c'eſt par cette raiſon que je l'ai placé ici; je me ſerois même étendu ſur ſa conſtruction, ſi je ne paſſois de beaucoup les bornes que je m'étois preſcrites pour cet Ouvrage.

Remarque ſur la maniere de graduer l'écrou pour régler l'Horloge.

1745. J'AI dit (1740) que l'écrou qui eſt mis au bas du pendule eſt gradué, ce qui ſert à régler l'horloge: ces

diviſions de l'écrou ſont communément faites au hazard, enſorte que l'on ne ſait pas combien il faut le tourner d'un ou d'autre côté, pour faire avancer ou retarder l'horloge d'une ſeconde, par exemple, en 24 heures; cependant il eſt très-facile de graduer les écrous: pour produire cet effet, il ne faut que meſurer la diſtance des filets de la vis du pendule, & mettre autant de diviſions ſur l'écrou que le filet contient de centiemes de ligne, lorſque c'eſt un pendule à ſecondes: Voyez (1709 & 1713).

1746. Pour meſurer le chemin que fait l'écrou à chacune de ſes révolutions, je me ſers du pyrometre: pour cet effet, j'applique le pendule & ſon écrou tel qu'il eſt vu (*Pl. XXIV, fig.* 2) ſur cet inſtrument, & j'attache au centre de la lentille une piece coudée *p*, dont le bout va poſer ſur le rateau: dans cet état, j'amene l'aiguille du pyrometre en *c*, ce qui ſe fait en tournant l'écrou du pendule; pour lors je fais une marque à l'écrou vis-à-vis l'index; je note la diviſion où l'aiguille du pyrometre eſt arrêtée; enſuite tournant l'écrou, pour que l'aiguille vienne de *c* en *d*, je fais faire un tour exactement à l'écrou; cela fait, je compte le nombre de diviſions que l'aiguille du pyrometre a parcouru.

1747. Je ſuppoſe que l'aiguille du pyrometre ait fait parcourir 145 degrés pour un tour de l'écrou, on multipliera 145 par 16 tierces $\frac{1}{2}$, qui répondent à un degré du pyrometre, (1710), ce qui donnera 39 ſecondes 52 tierces, c'eſt-à-dire, que cet écrou en faiſant un tour feroit avancer ou retarder l'horloge de 39 ſecondes 52 tierces en 24 heures, ou très-à-peu-près 40 ſecondes: donc en diviſant l'écrou en 80 parties, chaque demi-diviſion fera avancer l'horloge d'une demi-ſeconde, & deux de ces diviſions la feront avancer d'une ſeconde, ce que l'on avoit demandé; mais il eſt bon d'obſerver que telle préciſion que l'on employe pour exécuter la vis, il y aura toujours quelque inégalité; & qu'ainſi cela ne produira pas exactement ce que donne le calcul; d'ailleurs, on a ſuppoſé que le pendule devenant plus long & plus court d'une ligne, fera avancer ou retarder l'horloge de 99 ſecondes, ce

qui n'eſt pas exactement vrai dans le pendule compoſé; au reſte, cela ne differe que d'une infiniment petite quantité, lorſqu'on alonge ou qu'on raccourcit le pendule que de peu; ce qui doit toujours arriver dans une horloge à ſecondes, qui eſt à peu-près reglée; ainſi ces petites difficultés n'empêchent pas que l'on ne doive employer un écrou, dont les diviſions ſoient calculées pour faire avancer ou retarder l'horloge de tant en 24 heures, ce qui eſt très-commode; mais il faut encore obſerver que le pas de vis le plus fin ſera le meilleur; ainſi un pas de vis qui ne feroit parcourir en un tour d'écrou que 72 degrés du pyrometre ſeroit préférable; car outre que cela diviſe les petites inégalités de la vis, on peut de plus ſubdiviſer chaque degré de l'écrou, comme en $\frac{1}{2}$ deg. en $\frac{1}{4}$, en $\frac{1}{8}$, &c; ce qui ſera d'un grand uſage dans le cas où une pendule auroit avancé ou retardé d'une petite quantité en pluſieurs jours.

CHAPITRE XXIII.

Des Verges compoſées pour corriger, de la maniere la plus avantageuſe, les effets de la dilatation & contraction des Métaux. Du calcul & dimenſions de ces Verges.

I. PROPOSITION pour ſervir à ce Calcul.

1748. *LES alongements que la chaleur produit ſur un même métal ſont en raiſon de la longueur du métal: ainſi lorſqu'un degré quelconque de chaleur produit un alongement* a *ſur une longueur donnée* x, *l'alongement deviendra double de* a, *lorſque cette même chaleur agira ſur une longueur double de* x: ce qui eſt évident; car l'alongement des métaux par la chaleur eſt l'effet de l'air qui s'introduit dans les pores du métal: or ſi on double

la longueur d'un corps homogene, en conſervant ſes autres dimenſions, il y aura une fois plus de pores, & par conſéquent la dilatation ſera une fois plus grande: cette propoſition eſt vérifiée par l'expérience.

II. PROPOSITION.

1749. *Si on a deux ſortes de métaux, dont les dilatations à longueurs égales ſoient différentes; pour obtenir des dilatations égales, il faudra que les longueurs ſoient en raiſon inverſe du rapport d'alongement des deux métaux.* Si on a, par exemple, deux verges, l'une de cuivre & l'autre d'acier, qui ayent chacune 40 pouces de longueur; ſi dans ce cas, l'alongement du cuivre eſt à celui de l'acier, comme a eſt à b, ou comme 22 à 13, pour avoir une verge d'acier, dont l'alongement ſoit $a = 22$, il faut que la longueur de cette verge d'acier ſoit à la longueur de la verge de cuivre, comme l'alongement du cuivre eſt à l'alongement de l'acier. On trouvera donc par une regle de Trois 67 pouces $\frac{2}{13}$: cette propoſition eſt une ſuite de la premiere; car les alongements d'un même corps étant proportionnels à ſes différentes longueurs, lorſqu'on double la longueur d'un corps, on double l'extenſion que produit la chaleur: ſi donc on veut qu'une verge produiſe un alongement de 22 au lieu de 13 (en ſuppoſant la même chaleur), on augmentera la longueur dans le rapport de 22 à 13.

1750. Nous employerons dans la ſuite ces deux propoſitions, pour conſtruire le plus avantageuſement des verges de pendules qui remédient à la dilatation des métaux, c'eſt-à-dire, qui ſoient tels que la diſtance du centre d'oſcillation de la lentille à celui de ſuſpenſion ſoit toujours la même.

1751. Nous avons traité juſques ici des pendules compoſés, où l'on applique un levier pour multiplier l'eſpace parcouru par le cuivre, afin de remonter la lentille; mais il eſt bon d'obſerver que ces machines ont un défaut aſſez eſſentiel, c'eſt que la peſanteur de la lentille agiſſant ſur la grande partie du levier, & conſéquemment par voie de mul-

tiplication ſur la verge de cuivre, il arrive que cette preſſion eſt aſſez forte pour faire fléchir les verges & les courber, enſorte que le centre de la lentille n'eſt point fixe, mais qu'il monte ou deſcend, ſelon que l'on appuie ſur la lentille; & ſi on la ſouleve, elle ne reprend pas ſa poſition, mais elle reſte d'équilibre avec le reſſort des verges, & d'autant plus que la preſſion de la lentille ſe fait obliquement ſur des verges coudées: or il arrive à de telles verges, que la chaleur & le froid font faire des écarts conſidérables à la lentille, quoique ces verges ſoient dans le rapport convenable; mais le reſſort des verges, cauſé par la preſſion multipliée de la lentille, produit ces écarts. Pour parer à cet obſtacle, j'ai conſtruit des verges où la longueur du cuivre eſt aſſez grande pour corriger la dilatation des verges d'acier, ſans qu'il ſoit néceſſaire d'agir par voie de multiplication; & j'ai par ce moyen ſupprimé ce que j'appelle, *Levier de compenſation.*

1752. Comme l'acier s'alonge moins que le fer, il faut ſe ſervir préférablement de verges d'acier: & le cuivre étant plus dur que le plomb, & ſes alongements étant aſſez conſtamment les mêmes, on ſe ſervira de cuivre pour remonter la verge qui porte la lentille: or, à longueur égale, l'alongement de l'acier eſt à celui du cuivre, comme 13 à 22.

1753. Il eſt poſſible de faire une verge compoſée qui remédie parfaitement aux effets du chaud & du froid; mais pour y parvenir, il faut que le métal dont on ſe ſert ſoit aſſez dur, pour n'être pas ſujet à la flexion que produit le poids de la lentille. Le cuivre eſt très-bon pour cet effet; mais il faut que la verge ſoit fort longue, & telle, qu'il ne ſoit pas beſoin d'employer un levier pour multiplier la quantité dont elle s'alonge de plus que la premiere verge; il faut qu'elle porte ſimplement par en haut ſur un talon de la troiſieme verge: pour y parvenir, j'avois d'abord imaginé de me ſervir d'un métal compoſé de plomb & d'antimoine, lequel s'alonge plus que le cuivre; or dans ce cas, la verge de métal n'exigeroit pas une ſi grande longueur; mais il vaut beaucoup mieux y employer du cuivre, & faire deſcendre la verge

3 ou 4 pouces au-deſſous de la lentille; & pour retenir la lentille avec l'écrou, employer une boîte de cuivre, dont l'alongement ſerviroit encore à remonter la lentille, & compenſeroit l'alongement des verges d'acier; de cette maniere, une telle verge pourra porter une lentille peſante ſans craindre d'affaiſſement.

PROBLEME.

1754. TROUVER les longueurs des verges *ab*, *cd*, *ef*, & de la boîte *BB* (*Pl. XXIII*, *fig.* 8) pour qu'elles ſoient telles que l'alongement de la verge *cd*, & de la boîte *B* de cuivre compenſe l'alongement des verges *ab* & *ef* d'acier.

1755. Selon le principe (1749), il faut que les longueurs des verges d'acier ſoient aux longueurs de celles de cuivre, comme l'alongement du cuivre eſt à celui de l'acier: il faut donc que l'on ait la proportion $ab + ef : dc + BB :: 22 : 13$. J'appelle z la longueur de la boîte *BB*: la longueur de la verge *ab* eſt égale à celle de la verge *ef*: la verge *cd* eſt de deux pouces plus courte que la verge *ab*, laquelle eſt la ſomme de 37 pouces, diſtance du point de ſuſpenſion au centre de la lentille, de 4 pouces de rayon de la lentille, & de la longueur z de la boîte moins 2 pouces. Ainſi l'expreſſion analytique de *ab* & de *ef*, eſt $37 + 4 + z - 2$, ou $39 + z$; celle de *cd* eſt $37 + z$, & par conſéquent celle de la proportion précédente devient $78 + 2z : 37 + 2z :: 22 : 13$. En multipliant les extrêmes & les moyens, on a l'équation $1014 + 26z = 814 + 44z$, tranſpoſant $1014 - 814 = 44z - 26z$, réduiſant $200 = 18z$, enfin diviſant $\frac{200}{18} = z = 11$ pouces $\frac{1}{9}$.

1756. La longueur de la boîte étant donc de 11 pouces $\frac{1}{9}$, la longueur totale du pendule ſera de $37 + 4 + 11\frac{1}{9} = 52$ pouces $\frac{1}{9}$, depuis le point de ſuſpenſion juſqu'à l'écrou. La verge *ef* qui porte la lentille, ne monte que de 2 pouces endeſſous du point de ſuſpenſion; elle a donc pour longueur 50 pouces $\frac{1}{9}$, ainſi que la verge *ab*; & celle de cuivre ayant, comme je l'ai dit, deux pouces de moins que la verge *ab* ou *ef*, aura $48 + \frac{1}{9}$.

1757.

1757. Pour vérifier ſi on a bien opéré, on peut prendre la ſomme des longueurs des deux verges d'acier qui ſont de 50 pouces $\frac{1}{9}$ chacune; les deux font 100 pouces $\frac{2}{9}$; il faut de même prendre la ſomme de la verge *c d*, qui eſt de 48 pouces $\frac{1}{9}$, & de la boîte *B* de 11 $\frac{1}{9}$, ce qui donne 59 pouces $\frac{2}{9}$, & faire la proportion $100\frac{2}{9} : 59\frac{2}{9} :: 22 : 13$; & réduiſant en neuviemes, on a 902 : 533 :: 22 : 13 : or le produit des extrêmes étant égal au produit des moyens, c'eſt une preuve que les longueurs que l'on a trouvées ſont telles qu'on les demande.

1758. J'ai conſtruit une verge de pendule qui remédiera encore mieux aux effets du chaud & du froid. Au lieu de faire deſcendre la verge au-deſſous de la lentille, & d'ajouter la boîte, comme nous avons dit ci-devant, je fais le pendule de trois verges d'acier & de deux de cuivre, en donnant une longueur aux verges d'acier qui ſoit aux verges de cuivre, comme l'alongement du cuivre eſt à celui de l'acier.

Deſcription de ce Pendule.

PLANCHE XXIII, FIGURE 7.

1759. *a b* eſt une verge d'acier, dont la partie ſupérieure *a* tient à la ſuſpenſion; le bout *b* eſt fait avec un talon ſur lequel poſe le bout *c* de la verge de cuivre *c d*; ſur l'autre bout *d* de cette verge poſe le talon *e* d'une verge d'acier *e f*; le bout *f* de cette verge porte auſſi un talon, ſur lequel poſe une ſeconde verge de cuivre *l n*, dont le bout ſupérieur *n* reçoit le talon d'une troiſieme verge d'acier *g h*, dont le bout prolongé *i* paſſe à travers la lentille, & la porte au moyen d'un écrou. Nous allons chercher les dimenſions des verges de ce pendule, dont les verges *d c*, *e f*, & la deuxieme *l n* de cuivre ſeront de même longueur.

1760. La diſtance du centre de la lentille au point de ſuſpenſion eſt de 37 pouces; la lentille a 8 pouces de diametre; l'intervalle qu'il y a du bas de la lentille au point de ſuſpenſion eſt de 41 pouces: il faut trouver la longueur de chaque

verge, enſorte que celles des verges d'acier ſoient à celles des verges de cuivre, comme l'alongement du cuivre eſt à celui de l'acier ; pour cet effet, je nomme x la longueur de la verge ab ; l'excès de la longueur de la verge ab ſur celle des verges dc, ef, ln, eſt de 30 lignes ; l'intervalle de i en m eſt de 41 pouces ou 492 lig. j'ai donc la proportion ſuivante : $x + x - 30 + 492 - 30 : x - 30 + x - 30 :: 22 : 13$; ou bien $2x + 432 : 2x - 60 :: 22 : 13$: donc $26x + 5616 = 44x - 1320$; ou, en tranſpoſant & réduiſant, $6936 = 18x$: donc $x = 385\frac{1}{3}$. Ainſi ab ſera de 385 lig. $\frac{1}{3}$; cd ſera de $355\frac{1}{3}$; ef & ln de même longueur ; & enfin im ſera de 462 lignes. Si pour vérifier ce calcul, on fait une ſomme des longueurs des verges d'acier, & une autre de celles des verges de cuivre, en les mettant en proportion avec 22 & 13, & prenant le produit des extrêmes, on le doit trouver égal à celui des moyens : ainſi on aura l'alongement de l'acier corrigé par celui du cuivre, ce que l'on demandoit. Voici les longueurs de ces verges :

$ab = 385\frac{1}{3}$.
$ef = 355\frac{1}{3}$.
$im = 462$.

$1202\frac{2}{3}$, longueurs des verges d'acier.

$cd = 355\frac{1}{3}$,
$ln = 355\frac{1}{3}$,

$710\frac{2}{3}$, longueurs des verges de cuivre.

Réduiſant en tiers, l'on aura 3608 : 2132 :: 22 : 13 ; multipliant les extrêmes & les moyens, on a le même produit 46904.

Deſcription d'un Pendule compoſé à chaſſis.

PLANCHE XXIII, FIGURE 12.

1761. LE pendule que nous venons de décrire m'a paru celui, de tous ceux que je connois, qui rempliſſe le mieux les conditions requiſes, & que nous nous ſommes preſ-

crites pour regle ; cependant j'y trouve encore un défaut, c'eſt que le poids de la lentille agit ſur les parties coudées des verges *a b*, *g h* (*fig.* 7), de maniere qu'il peut encore leur faire éprouver une flexion. Je crois enfin être parvenu à réunir tout ce qui peut contribuer à faire une verge de pendule auſſi parfaite qu'il eſt poſſible ; ayant levé l'obſtacle du pendule précédent, en conſtruiſant celui que l'on voit (*fig.* 12). La piece *a b c d* ne forme qu'une verge ou eſpece de *chaſſis* d'acier, dont la partie ſupérieure *s* porte le couteau qui ſuſpend le pendule ; *e f g h* eſt un ſecond chaſſis de cuivre, dont la partie *f g* poſe ſur le bas du chaſſis *a b c d* ; *i l m n* eſt un ſecond chaſſis d'acier, dont les talons *m*, *n* portent ſur les bouts *g*, *h* du chaſſis de cuivre ; & *o*, *p* ſont deux branches de cuivre, dont les parties inférieures poſent ſur le bas du chaſſis *i l* ; enfin *q r* eſt une verge d'acier, dont le talon *q* poſe ſur le bout ſupérieur des verges de cuivre *o*, *p* ; le bout inférieur *r* paſſe à travers les trois chaſſis ; il eſt taraudé pour recevoir l'écrou qui ſupporte la lentille qui n'eſt ici que ponctuée : le poids de la lentille eſt donc porté par les deux bouts de chaque verge, & paſſe ainſi au milieu, ce qui produit le même effet que ſi elle étoit portée par un canon ; d'ailleurs chaque verge ſupporte la moitié de la lentille, ce qui diminue l'affaiſſement ; la preſſion ſe fait perpendiculairement ſans tendre à écarter les verges ; ces verges doivent donc ſe dilater, ſans que la preſſion de la lentille leur faſſe faire cette eſpece de reſſort ſi préjudiciable ; & ſi l'on peut eſpérer de compenſer l'effet de l'extenſion du pendule, j'oſe me flatter que c'eſt en employant ce méchaniſme : nous allons trouver les dimenſions de cette verge, en attendant que nous rendions compte de ſon ſuccès.

PROBLEME.

Trouver les dimenſions du Pendule compoſé à chaſſis.

1762. Quoique le problême que nous venons de réſoudre pour la verge (*fig.* 7) ſoit applicable à celle de la (*fig.* 12),

il eſt cependant à propos de le réſoudre plus exactement par la raiſon que nous avons ſuppoſé les verges *bc*, *de*, *ef*, de même longueur, ce qui ne peut pas être à cauſe de l'épaiſſeur des talons qui diminuent la longueur de ces verges & du jeu qu'il doit y avoir pour donner lieu à l'effet de la dilatation; nous ſuppoſons que la peſanteur de cette verge fera deſcendre le centre de la lentille à la diſtance de 38 pouces du point de ſuſpenſion, la lentille ayant 8 pieds de diametre.

Effet de ce Pendule.

1763. Le premier chaſſis d'acier *acbd* (*Pl. XXIII, fig* 12) s'alongeant par la chaleur, ſa traverſe inférieure *cd* s'éloigne du point *s* de ſuſpenſion; mais les regles de cuivre *ge*, *hf*, qui portent ſur cette traverſe, en s'alongeant en même temps un peu plus, élevent les talons *m*, *n* du ſecond chaſſis d'acier *mikn*, tandis que ce chaſſis s'alonge auſſi, enſorte que la traverſe *ik* de ce chaſſis deſcend un peu; mais les autres regles de cuivre *o*, *h* qui poſent ſur cette traverſe, élevent par leur excès de dilatation, les talons qui ſont au ſommet de la regle d'acier *qr* qui porte la lentille; enſorte que ſi la longueur des verges d'acier eſt à la longueur des verges de cuivre, comme la dilatation du cuivre eſt à la dilatation de l'acier, la compenſation aura lieu, c'eſt-à-dire, que le centre de la lentille ſera toujours à même diſtance du point de ſuſpenſion, quelle que ſoit la température où l'on expoſe le pendule.

1764. On voit que l'alongement de toutes les pieces d'acier qui entrent dans la compoſition de la verge du pendule, ſe fait, 1°, ſelon *sm* diſtance du point de ſuſpenſion au côté intérieur du premier chaſſis d'acier; 2°, ſelon la longueur du montant *ac*, meſurée dans l'intérieur de ce chaſſis. J'appelle *x* cette longueur, parce que c'eſt dans ſa détermination que conſiſte la ſolution du problême; 3°, ſelon la longueur du montant *mi*, meſurée auſſi dans l'intérieur du ſecond chaſſis *mikn*; 4°, ſelon la longueur de la verge *qr*, meſurée depuis le deſſous de ſes talons juſqu'au centre *L* de la lentille. De même, tout

l'alongement du cuivre ſe fait ſelon la longueur des montants *g* & *o*; car les côtés *b d*, *n k* des chaſſis d'acier & les regles de cuivre *h* & *p*, ne ſervent ici qu'a empêcher le devers des pieces qui compoſent la verge du pendule, & par conſéquent leur longueur ne doit pas entrer dans le calcul.

1765. Cela poſé, ſi on donne 5 lignes d'épaiſſeur à tous les talons des verges d'acier & aux traverſes des montants, & ſi on ſuppoſe une ligne de jeu entre le haut de l'intérieur du premier chaſſis d'acier, & les talons *m n* du ſecond, & autant dans l'eſpace *e i k f*, il eſt clair qu'à cauſe du talon *m* & de ſon jeu, la longueur du montant de cuivre *g e* eſt $x - 6$ lignes; à cauſe de l'épaiſſeur de la traverſe *e f* de 5 lignes, du jeu *e i k f* d'une ligne, de l'épaiſſeur de la traverſe *i k* du ſecond chaſſis d'acier 5 lignes, de l'épaiſſeur 5 lignes des talons *q* de la regle *q r* & de ſon jeu une ligne, la longueur de la regle de cuivre *o* eſt $x - 17$ lignes: la ſomme des regles de cuivre eſt donc $2x - 23$ lig. la longueur *m e* de l'intérieur du montant du premier chaſſis d'acier eſt x; celle de l'intérieur du ſecond chaſſis d'acier eſt $x - 17$ lignes, ayant même longueur que la ſeconde regle de cuivre *o*; enfin la troiſieme regle d'acier, & qui porte la lentille, a pour longueur la diſtance du point de ſuſpenſion au centre de la lentille (que je ſuppoſe de 38 pouces = 456 lig.), moins la diſtance *s* du point de ſuſpenſion au point *m* du deſſous du chaſſis, que je ſuppoſe de 30 lignes, & moins l'épaiſſeur *q* du talon qui eſt 5 lig. & ſon jeu une ligne; la longueur de cette regle *q L* eſt donc de $456 - 30 - 6$ lig. c'eſt-à-dire, de 420 lig. donc la longueur des pieces d'acier eſt $x + x - 17 + 420$ lig. Cela poſé, en employant les nouvelles expériences qui nous ont donné le rapport de la dilatation du cuivre à celle de l'acier, comme 121 à 74, nous avons la proportion $2x - 17 + 420 : 2x - 23 :: 121 . 74$, donc $148x - 1258 + 31080 = 242x - 2783$, tranſpoſant & réduiſant $32605 = 94x$, & par conſéquent $x = \frac{32605}{94} = 346$ lig. $\frac{81}{94} = 28$ pouces 10 lignes $\frac{81}{94}$, d'où il eſt aiſé de conclure toutes les dimenſions des pieces de la verge compoſée.

REMARQUE.

1766. POUR détruire l'effet de l'affaiſſement cauſé par le poids de la lentille, il faut faire les chaſſis un peu plus longs que ne donne le calcul ; & pour être aſſuré que chaque talon porte exactement ſur le bout des verges de cuivre, il faut les rendre mobiles, plaçant pour cet effet en *q* une cheville pour aſſembler le talon à la verge qui porte la lentille ; les talons du ſecond chaſſis d'acier devront être limés exactement, pour porter ſur les bouts du chaſſis de cuivre.

Dimenſions qu'il eſt à propos de donner au Pendule compoſé à chaſſis.

1767. LA longueur intérieure du chaſſis de 37 pouces = 444 lig. qui jointes à 30 lig. diſtance au point de ſuſpenſion, donnent 474 lig. pour la longueur totale du chaſſis d'acier. Le ſecond chaſſis d'acier 427 lignes ; la verge qui porte la lentille, 396 lignes, de ſorte que le talon ſera diſtant de ſix pouces du haut du chaſſis : j'ai donné cette dimenſion, afin qu'en faiſant monter d'abord les verges de cuivre tout au haut, ſi le pendule ſe raccourcit par la chaleur, je puiſſe l'amener au point de reſter immobile en raccourciſſant les deux verges de cuivre du milieu. Le chaſſis de cuivre a 438 lig. les verges de cuivre du milieu ont 355 ; ainſi la longueur totale des verges de cuivre ſera de 793. La longueur totale des verges d'acier eſt de 1297 ; la longueur des verges d'acier eſt donc à celle de cuivre, à peu-près comme la dilatation 121 du cuivre eſt à la dilatation 74 de l'acier, ce qui fera la compenſation ; mais, ainſi que je l'ai dit ci-deſſus, je me réſerve de corriger ce pendule par l'expérience ; pour cet effet, lorſqu'il ſera exécuté, je l'appliquerai ſur le pyrometre, après l'avoir mis à la glace : je donnerai toute la longueur poſſible aux verges intérieures de cuivre, c'eſt-à-dire, 6 pouces de plus que le calcul ne l'exige, enſorte que la chaleur fera néceſſairement accourcir le pendule ; & je baiſſerai inſenſiblement ces verges, juſqu'à ce que le pendule ne s'alonge ni ne

ſe raccourciſſe par le chaud ou par le froid. Nous rapporterons dans la ſuite les expériences que j'ai faites ſur ce pendule, & comment je ſuis parvenu à le rendre propre à compenſer le mieux poſſible les effets de la dilatation & contraction des verges.

CHAPITRE XXIV.

Deſcription de l'Horloge que j'ai compoſée pour les Obſervations aſtronomiques.

1768. CETTE horloge eſt à ſecondes, elle a la propriété de ſonner les ſecondes quand on le juge à propos, ce qui eſt produit par un méchaniſme indépendant du mouvement dont il ne peut troubler la juſteſſe. Le pendule eſt compoſé pour remédier aux dilatations des métaux; je me ſuis propoſé, en conſtruiſant cette horloge, de réduire, autant qu'il m'a été poſſible, toutes les cauſes qui s'oppoſent à ſa juſteſſe : cette horloge va un an ſans remonter, en employant le même nombre de dents de rouage, & même hauteur de poids que ſi elle n'alloit que ſix mois.

PLANCHE XXV.

1769. Les figures 1 & 2 repréſentent la ſuſpenſion, le pendule & toutes les pieces qui ſupportent toute la machine; *ABCDF* (*fig.* 1) eſt une piece de fer qui s'attache contre le mur, au moyen de grands clous à crochet, qui entrent dans les ouvertures faites en *A*, *B*.

1770. *GHHKL* eſt une forte piece de cuivre attachée ſur la croix *ACFD*, au moyen de la vis conique *G*, ſur laquelle & autour de laquelle cette piece eſt mobile; *K*, *L* ſont deux ouvertures faites à cette piece *GHI*, pour permettre ſon mouvement ſur le centre *G*: les vis *K*, *L* ſervent à fixer & rendre immobile cette piece avec la croix de fer.

1771. La piece *IM*, eſt fixée après celle *GHI*; elle eſt prolongée juſqu'au bas de la lentille, & là, elle eſt coudée en *N*, pour porter le limbe *O* qui répond directement au bas de l'index *P* porté par la lentille : la piece *GHMH* mobile en *G*, peut ſe mouvoir, comme nous avons dit, ſeparément de la croix; l'effet de ce mouvement eſt de rendre verticale la ſituation de cette cage, ce qui ſe voit lorſque le point du limbe marqué par o, répond au-deſſous de l'index *P* porté par la lentille.

1772. La vis de rappel *Q* ſert à mouvoir inſenſiblement le limbe, & à l'amener ſous l'index *P*.

1773. Les vis *D*, *F* ſont faites pour mettre le pendule verticalement dans le ſens du mur, ce qui eſt indiqué par la ſituation de l'index *P* au-deſſus du limbe.

1774. Les côtés *HH* de la piece *GI*, ſervent à porter le pendule & le mouvement; les parties *a*, *b* ſont encore recoudées, & redeviennent paralleles à la baſe *GI*; c'eſt à ces parties *a*, *b* que s'attache le mouvement de l'horloge.

1775. *RS* eſt une piece ou ſupport d'acier, dont les extrémités *RS* ſont percées pour recevoir les pivots portés par les vis *c*, *d*; ce ſupport a une ouverture ſelon ſon axe, propre à laiſſer paſſer librement la verge du pendule.

1776. Ce ſupport a une rainure tranſverſale, ſur laquelle poſe le couteau *T* du pendule; le couteau eſt ſurmonté par l'écrou *V*, lequel entre à vis ſur le bout de la verge du pendule, ce qui ſert à régler ſa marche; l'index *f* porté par le couteau, indique le nombre de diviſions de l'écrou que l'on fait paſſer en le tournant; pour mieux concevoir la diſpoſition de cette partie de la ſuſpenſion, il faut jetter les yeux ſur les figures 6, 7, 8, 9 de la XXVIe Planche; la figure 6 repréſente le ſupport avec la rainure tranſverſale dont nous avons parlé.

1777. La figure 7 repréſente le couteau, lequel porte une mortaiſe *ac*, dans laquelle entre fort juſte l'extrémité de la verge, afin que le plan de la lentille ſoit toujous perpendiculaire à la direction du couteau.

1778. La figure 8 repréſente le couteau vu en-deſſus; l'ouverture

l'ouverture ronde *g*, ſert à y laiſſer deſcendre la partie *a b* de l'écrou (*fig.* 9).

1779. Pour empêcher le couteau de ſe mouvoir ſur ſa longueur, & par conſéquent la verge du pendule de toucher aux côtés de l'ouverture du ſupport (*fig.* 6), j'ai fixé aux côtés *A*, *B* du ſupport, deux plaques au moyen de deux vis : *B* eſt une de ces plaques; l'autre eſt ôtée pour laiſſer voir la rainure.

1780. La fig. 2 (*Pl. XXV*) repréſente la verge du pendule; nous nous diſpenſons de la décrire ici, l'ayant déja fait en traitant des verges compoſées (1721 *& ſuiv.*) : la lentille eſt rendue fixe avec le pendule, au moyen de la broche coudée *X* (*fig.* 1).

1781. Les petites parties *g*, *h* portées par le limbe, ſont faites pour empêcher, qu'en mettant le pendule en mouvement, on ne lui faſſe décrire de trop grands arcs, effets dangereux pour la roue d'échappément, dont on pourroit caſſer les pivots.

Deſcription du mouvement de l'Horloge.

PLANCHE XXVI.

1782. LA troiſieme figure repréſente l'intérieur du mouvement. La premiere figure repréſente le devant de ce mouvement avec ſon cadran : *A*, *B* ſont deux vis qui ſervent à attacher le mouvement avec la ſuſpenſion; on voit que par cette diſpoſition, on ôte le mouvement ſans déranger le pendule qui en eſt indépendant.

1783. *C*, *D* ſont les poids moteurs du mouvement, ils ont même peſanteur; *b* eſt une poulie, dont la chappe eſt fixée à la platine du mouvement; la corde qui s'enveloppe ſur le cylindre ponctué *E* du mouvement, paſſe par la poulie *a* qui porte le poids *C*; elle paſſe enſuite ſur la poulie fixe *b*, delà elle paſſe à la poulie *c*, le bout vient enfin s'attacher au crochet *F* qui tient à la cage du mouvement; de cette maniere on voit que la corde eſt deux fois plus longue que ſi le poids étoit immédiatement attaché par

une ſimple mouſle ordinaire, ce qui double la durée de la marche de l'horloge; car lorſque le poids *C* eſt deſcendu au point de poſer ſur le plancher, celui *D* eſt reſté en *D*; mais dès l'inſtant que le premier commence à poſer, celui-ci commence à deſcendre, & il employe néceſſairement autant de temps que le premier; cette diſpoſition des poids eſt la même dont je fis uſage dans la Pendule à équation, que je préſentai à l'Académie Royale des Sciences en 1754.

1784. La roue *A* (*fig.* 3), eſt portée par le cylindre ſur lequel s'enveloppe la corde qui porte le poids; elle a 100 dents; elle engrene dans le pignon *a* qui porte la roue *B*; ce pignon a 10 dents; la roue *B* a 72 dents; elle engrene dans le pignon *b* qui en a 8; ce pignon porte la roue *C* qui a 64 dents; elle engrene dans le pignon *C* qui en a 8; celui-ci porte la roue *D* qui a 64 dents; elle engrene dans le pignon *d* qui a 8 dents; il porte la roue *E* de 60 dents; celle-ci engrene dans le pignon *e* de 8 dents, lequel porte la roue *F* d'échappement; cette roue a 30 dents & 8 lignes de diametre; le pendule étant à ſecondes, cette roue fait un tour en une minute; on trouvera donc qu'elle fait 43200 révolutions pour une de la premiere roue (1450).

1785. *GH* eſt un pied de biche mobile en *L*, il ſert à entretenir le mouvement de l'horloge pendant qu'on la remonte: nous avons expliqué ſon effet Partie I. (71).

1786. Le pignon *d* que porte la roue *E*, paſſe à travers la platine des piliers, pour aller engrener dans la roue des minutes qui eſt concentrique à l'aiguille des ſecondes. Voyez ce méchaniſme, Partie I, Chap. III & Planche III.

1787. Pour réduire les frottements le plus qu'il a été poſſible, j'ai tenu ces roues petites & légeres; le cylindre même & la grande roue ſont croiſées; les pointes de tous les pivots portent ſur des plaques d'acier trempé, afin d'éviter par ces moyens les frottements des portées des pivots contre les platines.

1788. La figure 2 repréſente le dehors de la ſeconde platine; dans les pieces ordinaires, l'échappement ſe fait en

dedans de la cage ; ici, au contraire, il eſt fait ſur le dehors de la ſeconde platine ; ainſi le rochet d'échappement *F* eſt placé au-deſſus de la platine (*fig.* 2) ; le petit pivot de la roue d'échappement, c'eſt-à-dire, celui qui eſt placé du côté de la roue, roule dans le trou fait pour cela au coq *b* attaché à la ſeconde platine ; l'autre pivot, qui eſt celui qui porte l'aiguille des ſecondes, roule dans le trou fait à un bouchon qui eſt chaſſé à force ſur le bout du pont de la roue de minute ; par cette méthode j'ai pu réduire le pivot à un plus petit diametre, que s'il rouloit dans la platine des piliers, & par conſéquent le frottement eſt moindre, le pivot plus court & plus facile à exécuter.

1789. Lorſque le mouvement eſt attaché à la piece de ſuſpenſion, le centre du mouvement du pendule répond à la hauteur du rochet ; nous allons rendre raiſon de cette diſpoſition ; mon but, en compoſant cette piece, a été de faire décrire de très-petits arcs au pendule ; or pour cela, il n'auroit pas été facile de faire un échappement ſolide, en faiſant coïncider ſon centre de mouvement avec celui du pendule : j'ai donc placé le centre de mouvement de ma piece d'échappement *A c d* au bas de la cage ; enſorte qu'il arrive que ſi l'échappement parcourt un angle d'un degré, celui du pendule n'en parcourt que la moitié ; la fourchette *B* (*fig.* 5) ayant même longueur que l'ancre, elle agit à une diſtance du centre de ſuſpenſion du pendule qui eſt double de la longueur de l'ancre ; les arcs du pendule ſont donc moitié plus petits que les arcs parcourus par la partie *c d* de l'ancre.

1790. Les petites parties ſaillantes 9, 10 de l'ancre, ſervent à y retenir l'huile néceſſaire à l'échappement à repos.

1791. La figure 5 repréſente la piece d'échappement & la fourchette ; celle-ci eſt mobile en *B*, au moyen d'une vis de rappel, qui ſert à mettre l'horloge dans ſon échappement, ce qui ſe fait, lorſque le pendule eſt bien vertical ; le méchaniſme de cette fourchette a été expliqué (77 & 78) ; paſſons maintenant au méchaniſme que j'ai conſtruit pour ſonner les ſecondes.

1792. Les Aſtronomes exigent, que non-ſeulement leurs

horloges à ſecondes diviſent le temps, & le marquent exactement au moyen des aiguilles, ils veulent encore que les ſecondes ſoient frappées, de maniere qu'ils puiſſent les compter ſans regarder l'horloge; on eſt parvenu à remplir leurs objets de deux manieres différentes: la premiere, c'eſt en faiſant des échappements qui fiſſent beaucoup de bruit, c'eſt-à-dire, dont la force motrice fût grande ainſi que la chûte de l'échappement; la ſeconde eſt, en plaçant ſur la roue des ſecondes, 60 chevilles, qui à chaque battement du pendule élevent un marteau qui frappe ſur un timbre, & indique par conſéquent les ſecondes; mais il eſt aiſé de voir que l'une & l'autre méthode doit néceſſairement influer ſur la juſteſſe de l'horloge; car dans le premier cas la force motrice étant plus grande qu'il n'eſt beſoin, change la nature des oſcillations du pendule, & cauſe à l'échappement & aux rouages des frottements, qui venant à changer, dérangent l'iſochroniſme de la machine; & dans le ſecond, on voit que pour faire frapper un marteau, il faut une très-grande force motrice, ce qui cauſe des frottements conſidérables; d'ailleurs ce marteau n'agiſſant pas continuellement ſur le rouage, cela change encore cette force; ce moyen eſt donc encore très-défectueux: enfin les Aſtronomes ſe ſervent d'une machine, qu'ils appellent un *Valet*, c'eſt un pendule à ſecondes qu'ils reglent ſur leurs horloges; ce pendule eſt entretenu en mouvement par une roue & un échappement; la roue fait frapper un marteau, enſorte que le valet ſonne les ſecondes pendant tout le temps que ſes battements ſont d'accord avec ceux de l'horloge, ce qui ne doit pas durer long-temps. J'ai donc cru lever cet obſtacle, en conſervant cependant à l'horloge la propriété de frapper les ſecondes; pour cet effet, j'ai adapté (*fig.* 2) un rouage particulier entraîné par un poids qui éleve un petit marteau qui frappe les ſecondes.

1793. L'axe de la roue *L* (*fig.* 2) ſe meut ſur des pivots qui roulent dans la cage formée par une platine du mouvement & par la plaque *HI*; cet axe porte un cylindre ſur lequel s'enveloppe la corde qui porte le poids 2, qui eſt le moteur de

ce rouage; cet axe porte auſſi un rochet d'encliquetage, dont l'effet ſert à entraîner la roue *LL*; celle-ci porte 90 dents; elle engrene dans un pignon *a* qui en a 6; ce pignon porte une roue *h*, dont nous expliquons l'uſage dans le moment.

1794. La roue *LL* porte 60 chevilles, dont l'effet eſt de lever le petit marteau *t u*, mobile en *t* ſur des pivots qui ſe meuvent dans la cage.

1795. Le marteau porte la levée 4, qui eſt élevée par la cheville: un double effet de cette levée eſt d'empêcher que la roue ne rétrograde après la chûte du marteau, lorſqu'on remonte le poids; ainſi cette roue ne peut aller qu'en avant.

1796. Pour déterminer la vîteſſe des coups de marteau, & les régler parfaitement ſur les battements du pendule, j'ai adapté ſur la piece d'échappement *c d* le petit ancre *e f g*, dont les parties *f, g* ſont des portions de cercle concentriques à *A* centre de mouvement de l'échappement.

1797. Le cercle ou roue *h*, porte deux chevilles qui forment une eſpece d'échappement avec l'ancre *e f*, enſorte qu'il arrive qu'à chaque battement du pendule, une de ces chevilles s'échappe, & pendant cela le petit marteau frappe un coup, & ainſi ſucceſſivement, pendant que le poids eſt monté, ou bien que l'on veut qu'elle ſonne.

1798. La poulie ou cylindre de la roue *LL* eſt diviſé en deux parties ſur ſa longueur; l'une eſt pour envelopper la corde qui porte le poids, & l'autre pour la corde *I 6 y*, qui ſert à remonter la machine; le bout de cette corde eſt attaché à la branche *y* mobile en *x*; l'effet de cette branche eſt que lorſque l'on veut remonter le poids, on tire l'anneau *z*, porté par la corde; en tirant cet anneau, la corde attachée en *y*, oblige cette branche de deſcendre; celle-ci entraîne le bras *x* 7, dont l'extrémité 7 paſſe derriere la roue *h*, & va arrêter une cheville que porte cette roue; enſorte que pendant qu'on remonte le poids, cette roue reſte immobile, & que les chevilles d'échappement qu'elle porte, ne peuvent aller s'oppoſer au mouvement de la piece d'échappement; le rouage de la ſonnerie reſte donc arrêté pendant tout le temps

que l'on ne dégagera pas la cheville du bras 7.

1799. L'axe *x* du bras *y*, eſt prolongé dehors de la platine des piliers ; il porte quarrément le bras ponctué *x* 3, auquel tient le cordon *R* ; c'eſt en tirant celui-ci que l'on donne la liberté à la piece de ſonner, ce qu'elle fait juſqu'à ce que l'on touche à l'anneau, & qu'on faſſe redeſcendre le bras *y*, ou que laiſſant frapper le marteau, la palette *n* portée par l'axe de la roue *L L*, ait fait tourner la roue *m*, de maniere que l'intervalle de la dent 8, étant amené ſous le bras *r*, celui-ci en deſcendant faſſe préſenter la partie *s* d'un autre bras que ſon axe *q* porte ; & ce bras *s* en deſcendant s'engagera, de ſorte qu'il arrêtera une des chevilles de la roue *h*, & par conſéquent la petite ſonnerie.

1800. La roue *m* ſert donc à limiter le temps de la marche de la ſonnerie, ſoit pour empêcher qu'on ne la remonte trop, ſoit pour l'arrêter en un point fixe.

1801. On peut auſſi arrêter la ſonnerie, ſans attendre que le poids ſoit deſcendu au bas ; il ſuffit de deſcendre tant ſoit peu l'anneau *z*, & par conſéquent le bras 7.

1802. Tous les effets que nous venons de décrire, ont eu pour objet de rendre ce méchaniſme tellement indépendant du mouvement, qu'il ne puiſſe ni en déranger la juſteſſe, ni faire arrêter l'horloge. Pour faire uſage de la ſonnerie des ſecondes, on voit que cela ſe borne à remonter le poids au moyen de l'anneau *z* ; & dans l'inſtant que l'on veut obſerver, on n'a qu'à tirer le cordon *R*, afin de donner la liberté au marteau de frapper.

1803. Il eſt aiſé de voir par la diſpoſition de cette machine, que la force que le petit poids communique aux chevilles d'échappement *h*, eſt infiniment petite ; car ce poids n'a que la force requiſe pour élever le marteau, dont la levée eſt continuellement appuyée ſur les chevilles ; enfin cette petite réſiſtance que font les chevilles ſur l'ancre, ne ſe fait que pendant l'inſtant de l'obſervation, & elles agiſſent d'ailleurs ſur des portions de cercle. La deſcription que nous donnerons d'une ſonnerie à ſeconde, ſuppléera à ce que l'on n'aura pas

compris à celle-ci : voyez Chapitre XXXIX ; on y trouvera de plus grand détails ſur toutes les parties d'une horloge aſtronomique.

1804. La quatrieme figure repréſente le profil du mouvement, lequel aidera à faire entendre la conſtruction de cette machine.

1805. La premiere roue du mouvement a une cage particuliere ; je l'ai ainſi conſtruite par la raiſon que la longueur du cylindre exige une cage haute, & que les roues du mouvement étant petites, les axes ou tiges des pignons auroient été trop longs, peſants & incommodes à travailler.

CHAPITRE XXV.

Du Régulateur des Montres.

1806. LES MONTRES étant expoſées à divers mouvements & poſitions, il faut que leur régulateur ne reçoive aucun dérangement ſenſible par les différentes poſitions & mouvements ; or le pendule ne peut faire ſes vibrations régulieres que dans le cas où il eſt toujours dans un plan parfaitement vertical, & qu'il ne reçoit aucun mouvement étranger ; le pendule ne peut donc pas ſervir de régulateur à une montre (55) ; il a donc fallu avoir recours au balancier, dont la propriété eſt de conſerver ſon mouvement dans toutes ſortes de poſitions, & malgré les ſecouſſes qu'il peut ſouffrir (124), pourvu qu'elles ne ſoient pas exceſſivement irrégulieres.

1807. *Le balancier ſimple, n'a par lui-même aucune tendance à ſe mouvoir d'un côté plutôt que de l'autre*, ainſi il ne tend pas à faire des vibrations comme le pendule, c'eſt-à-dire, à aller & à revenir alternativement ſur lui-même ; c'eſt par cette raiſon que les premiers Horlogers imaginerent l'échappement à roue de rencontre, dont l'effet eſt tel que la roue ra-

mene le balancier au moyen des palettes, & le fait ainſi aller & revenir (125); voilà la premiere origine de l'application des vibrations dans une machine pour en régler le mouvement. Quoique l'on eût tous les jours devant les yeux des corps ſuſpendus, qui alloient & revenoient ſur eux-mêmes, on n'avoit pas encore, au milieu du ſiecle paſſé, fait uſage du pendule, dont l'application aux horloges eſt dûe à Huyghens.

1808. Le balancier n'ayant, comme nous avons dit, aucune tendance à ſe mouvoir d'un côté plus que de l'autre, il arrive néceſſairement que la vîteſſe de ſon mouvement eſt variable ſelon l'inégalité de force qui lui eſt tranſmiſe par la roue de rencontre; ce ne fut que vers le milieu du ſiecle dernier (en 1675 *), que l'on adapta un reſſort ſpiral au balancier, pour lui faire produire des vibrations indépendantes de l'échappement; c'eſt encore à Huyghens que cette admirable découverte eſt dûe.

1809. Nous conſidérerons, dans le Chapitre ſuivant, les effets du reſſort ſpiral ſimple, & non appliqué au balancier; & enſuite nous verrons les effets qui doivent réſulter de leur jonction, & de quelle maniere les vibrations du balancier avec ſon reſſort ſpiral doivent ſe faire, lorſqu'il eſt indépendant du rouage. Nous appellerons le reſſort ſpiral *le ſpiral* ſimplément, conformément au langage des Artiſtes.

CHAPITRE XXVI.

Du Reſſort; ſpiral des Vibrations qu'il produit au Balancier.

1810. LA propriété d'un reſſort quelconque eſt; qu'ayant été écarté de ſon repos par l'effort d'une puiſſance, dès qu'on l'abandonne à lui-même, non-ſeulement il retourne

(*) Voyez Mémoires de l'Académie, tome X, page 549.

vers

vers le point d'où il étoit parti, mais encore il fait autant de chemin de l'autre côté qu'on lui en a fait faire en le tendant; le reſſort ayant alors conſumé toute ſa force revient ſur lui-même, & fait ainſi des vibrations, de même qu'un pendule que l'on écarte de ſon repos.

I. PRINCIPE.

1811. LA vîteſſe des vibrations du reſſort eſt d'autant plus grande que ce reſſort eſt plus fort, & au contraire :

II. PRINCIPE.

1812. LE reſſort fait un nombre de vibrations d'autant plus grand que les parties du reſſort ſont plus dures, & qu'elles éprouvent une moindre deſtruction par les vibrations ou mouvement du reſſort. Ces deux propoſitions n'ont pas beſoin de démonſtration.

1813. On démontre par expérience que les vibrations grandes ou petites d'un même reſſort ſont iſochrones, c'eſt-à-dire, de même durée. Voyez ces expériences dans les Eléments de Phyſique de s'Graveſande, tome premier, art. 784.

1814. Il réſultera donc de ces propriétés du reſſort, qu'étant adapté au balancier, on aura :

I. PROPOSITION.

1815. LA vîteſſe des vibrations d'un balancier mu par un reſſort ſpiral, dépend de la grandeur & du poids du balancier, c'eſt-à-dire, de ſon inertie & de la force du reſſort ſpiral; ſi donc le balancier eſt grand & peſant, le ſpiral foible, les vibrations ſeront lentes; car plus le balancier a d'inertie, & plus ſa réſiſtance au mouvement augmente; & d'ailleurs, plus le ſpiral eſt foible, & plus ſes vibrations ſont lentes.

II. PROPOSITION.

1816. Si un balancier grand & peſant, étant mu par un ſpiral qui ſoit foible, fait alternativement des grandes & des

petites vibrations, elles ne ſeront pas iſochrones ; car par la nature du balancier, de ſon inertie, des frottements des pivots, &c, les eſpaces qu'il parcourra le ſeront en des temps d'autant plus longs qu'ils ſeront plus grands ; ainſi malgré la tendance du ſpiral à faire ſes oſcillations d'égale durée, comme il ne détermine qu'en partie la vîteſſe du mouvement du balancier, le balancier n'ira ni avec la vîteſſe qu'il auroit, ſi étant ſéparé du ſpiral, on lui eût communiqué la même impulſion, ni avec la vîteſſe du ſpiral, mais avec une vîteſſe déterminée par l'inertie du balancier & par la force du ſpiral.

III. PROPOSITION.

1817. SI on a un balancier qui ſoit très-léger, & mu par un reſſort ſpiral qui ſoit fort : 1°, Les vibrations ſeront très-promptes : 2°, Soit que le balancier décrive de grands ou de petits arcs, les oſcillations ſeront très-approchantes d'être iſochrones.

IV. PROPOSITION.

1818. PLUS le reſſort ſpiral ſera compoſé de parties dures, & plus auſſi le balancier fera un grand nombre d'oſcillations, c'eſt-à-dire, qu'un reſſort ſpiral qui eſt de bon acier bien trempé, eſt infiniment plus propre à conſerver le mouvement du balancier, & à lui faire produire des oſcillations iſochrones.

V. PROPOSITION.

1819. UN balancier fait en même temps un nombre de vibrations d'autant plus grand que les frottements des pivots ſeront moindres.

CHAPITRE XXVII.

Réflexion ſur la nature du meilleur Balancier de Montres.

PRINCIPE.

1820. NOUS avons vu, Chapitre X, art. 1533 & ſuivants, que ſans la réſiſtance de l'air & le frottement de la ſuſpenſion, un pendule une fois mis en mouvement le conſerveroit perpetuellement; & comme toutes ſes oſcillations ſeroient de même étendue, elles ſeroient iſochrones: ainſi un pendule eſt le régulateur le plus parfait que l'on puiſſe appliquer à une machine qui meſure le temps, puiſqu'il n'eſt beſoin que de placer auprès un compteur qui marque le nombre des oſcillations; mais comme l'air réſiſte au mouvement, & que la ſuſpenſion du corps cauſe un frottement qui détruit une partie du mouvement, il arrive que les oſcillations d'un pendule ſimple diminuent inſenſiblement, enſorte qu'elles ne ſont plus iſochrones, & que le mouvement ceſſe enfin après un certain temps. Si ces obſtacles ne peuvent abſolument être vaincus, au moins eſt-il poſſible d'en détruire une partie; ainſi le pendule qui, ayant reçu un mouvement, le conſervera plus long-temps & le plus également, doit être cenſé le meilleur régulateur.

1821. Le même raiſonnement eſt applicable au balancier mu par un ſpiral: car de même que dans les horloges à pendule, on doit juger de la meilleure application du régulateur, lorſque le mouvement ſe conſerve plus long-temps & plus uniformément; de même ſi on fait un balancier auquel une impulſion donnée procure des oſcillations iſochrones, &

conſerve ſon mouvement pendant un fort long-temps, on eſt cenſé avoir réduit les frottements & les réſiſtances de l'air à la moindre quantité poſſible, de ſorte que ce balancier ſera le meilleur régulateur applicable à une montre : nous allons examiner comment on peut parvenir à cela.

CHAPITRE XXVIII.

Du Balancier régulateur des Montres, de la maniere de déterminer celui qui eſt le plus propre à meſurer le Temps.

PREMIER AXIOME *ou* PRINCIPE.

1822. *LES temps des oſcillations d'un corps ſeront les mêmes, ſi la réſiſtance au mouvement eſt toujours la même, & que la puiſſance motrice agiſſe avec une force conſtante* (a); ainſi les vibrations d'un balancier ſeroient iſochrones, ſi les réſiſtances de l'air & les frottements étoient conſtamment les mêmes, & ſi la force motrice ne changeoit pas.

II. PRINCIPE.

1823. *Pour juger de l'avantage d'un régulateur ſur un autre, il faut comparer les forces* (b) *ou quantités de mouvement de l'un & de l'autre; comparer de même les frottements* (c) *ou réſiſtances qui s'oppoſent au mouvement de l'un & de l'autre corps :* ainſi ſi la

(a) Je fais abſtraction pour le moment des changements de la température.

(b) J'entends par *force*, cette propriété qu'a un corps en mouvement, de vaincre un nombre d'obſtacles; alors la meſure de cette force eſt le produit de la maſſe du corps par le quarré de ſa vîteſſe.

(c) Sur les frottements, voyez le Chap. ſuivant.

force ou la quantité de mouvement d'un corps *A* eſt à la quantité de mouvement du corps *B* dans un plus grand rapport que n'eſt la réſiſtance qu'il éprouve à ſe mouvoir, comparée à celle qu'éprouve le corps *B*, le corps *A* ſera préférable ; puiſqu'il a plus de force pour vaincre les frottements, que n'a le corps *B* pour vaincre les ſiens.

III. PRINCIPE.

1824. *Plus la réſiſtance ou frottement d'un corps ſera grande, relativement à la force & au frottement d'un autre corps, & plus auſſi la force requiſe pour entretenir ſon mouvement devra être grande ;* ainſi ſi les frottements du corps *A* ſont aux frottements d'un corps *B* dans un plus grand rapport que n'eſt la force de *A* à *B* ; la force requiſe pour entretenir le mouvement du corps *A* ſera dans un plus grand rapport que n'eſt la quantité de force de *A* comparée à *B* ; de ſorte qu'il arrivera, que quoique le corps *A* ait une plus grande quantité abſolue de mouvement, il perſiſtera cependant moins à le conſerver ; car l'excédent de ſa force ſur la réſiſtance étant moindre que dans le corps *B*, il faudra une plus grande force motrice pour entretenir ſon mouvement : il ſuit delà, 1°, qu'un moindre changement dans les frottements ou dans les réſiſtances qu'éprouvent les corps, cauſera une différence dans la vîteſſe : 2°, Que la force motrice étant plus grande, relativement à la quantité de mouvement du corps, augmente les frottements, & par conſéquent les inégalités des forces tranſmiſes au régulateur.

Premiere Propoſition ſur les Balanciers.

1825. SI deux balanciers de même peſanteur, mais d'inégale grandeur, décrivent des arcs ſemblables, enſorte cependant qu'un point quelconque pris ſur la circonférence de chaque balancier, parcoure en même temps des eſpaces égaux (*), les frottements ſur les pivots ſuppoſés de même

(*) Dans ce cas les balanciers auront la même quantité de mouvement, puiſqu'ils ont la même maſſe & la même vîteſſe.

groſſeur, ſeront en raiſon inverſe des diametres des balanciers, c'eſt-à-dire, que les frottements des pivots du grand balancier ſeront à ceux du petit, comme le diametre du petit eſt à celui du grand, ce qui eſt évident; car ſi le diametre du grand balancier, que je nomme *A*, eſt au diametre du petit *B*, comme 2 eſt à 1, pour que le petit ait la même vîteſſe à ſa circonférence, il faut qu'il faſſe deux fois plus d'oſcillations que le grand (les circonférences étant entr'elles comme les diametres (1409)); or nous ſuppoſons qu'ils ſont de même peſanteur; les pivots du balancier *B*, qui ſont de même groſſeur (*) que ceux de *A*, parcourront deux fois plus de chemin, le frottement ſera donc double; les frottements du balancier *A* ſont donc à ceux de *B*, comme 1 eſt à 2, c'eſt-à-dire, comme le diametre du petit balancier eſt à celui du grand.

1826. Cette propoſition prouve l'avantage d'un grand balancier ſur un petit, puiſqu'en doublant le diametre on diminue les frottements de la moitié, ſans changer la quantité de force ou de mouvement, & ſans augmenter la réſiſtance de l'air, puiſque nous ſuppoſons ici les mêmes eſpaces parcourus.

II. PROPOSITION.

1827. SI on a deux balanciers d'égale grandeur qui ſe meuvent avec différentes vîteſſes, & que la peſanteur des balanciers ſoit en raiſon inverſe du quarré des vîteſſes: 1°, Ils auront la même quantité de mouvement: 2°, Les frottements ſeront en raiſon inverſe des vîteſſes.

(*) Je dis qu'il faut ſuppoſer les pivots de même groſſeur; voici ſur quoi cela eſt fondé: on doit faire les pivots de balancier les plus petits qu'il eſt poſſible, & cela à une limite au-delà de laquelle la matiere ne permet pas de paſſer; ayant donc fait les pivots d'un grand balancier, les plus petits qu'il puiſſe avoir, il ne ſera plus poſſible de diminuer ceux du petit balancier, proportionnellement à la différence des diametres des balanciers; car ſi on pouvoit faire des pivots plus petits encore, il n'y auroit aucune difficulté de les employer avec un grand balancier qui n'auroit pas plus de poids: de cette maniere, on réduit à la moindre expreſſion le frottement des pivots; ainſi nous employons ici cette limite des groſſeurs des pivots; les frottements du petit balancier ſont donc effectivement dans le rapport; d'où l'on voit, qu'en faiſant un balancier trop petit, les pivots ne pouvant être diminués, ils ne différeront que peu de la grandeur d'un balancier; ainſi la quantité de mouvement ſera preſque égale aux frottements des pivots.

DÉMONSTRATION.

1828. 1°, Si la vîteſſe du balancier *A* eſt à celle de *B*, comme 1 eſt à 2, ſelon notre ſuppoſition, ſa maſſe ſera à celle de *B*, comme le quarré de la vîteſſe du balancier *B*, qui eſt 4, eſt au quarré de la vîteſſe du balancier *A*, qui eſt 1; or pour avoir la quantité de mouvement du balancier *A*, il faut multiplier la maſſe 4 par le quarré 1 de la vîteſſe; ainſi 4 exprimera la force du balancier *A*. De même pour avoir la quantité de mouvement du balancier *B*, il faut multiplier la maſſe 1 par le quarré 4 de la vîteſſe; 4 exprimera donc auſſi la force du balancier *B*: donc deux balanciers de même grandeur qui ſe meuvent avec différentes vîteſſes, ont la même quantité de mouvement, quand leurs poids ſont en raiſon inverſe du quarré des vîteſſes.

1829. 2°, Nous ſuppoſons ici que les frottements ſont proportionnels au produit du poids par l'eſpace parcouru; ainſi le frottement du balancier *A* ſera égal au produit de la maſſe 4 par la vîteſſe 1; & le frottement du balancier *B* ſera le produit de la maſſe 1 par la vîteſſe 2. Les frottements du balancier *A* ſont donc à ceux du balancier *B*, comme 4 eſt à 2, ou comme 2 eſt à 1, c'eſt-à-dire, en raiſon inverſe des vîteſſes.

REMARQUE.

1830. Nous avons ſuppoſé les frottements proportionnels aux produits de la maſſe par la vîteſſe, quoique cela ne ſoit pas exactement vrai; mais l'erreur eſt peu conſidérable, & nous n'avons pas d'expériences aſſez préciſes pour établir des calculs plus exacts.

1831. Il eſt donc préférable de faire un grand balancier qui ſoit léger, mais dont la vîteſſe ſoit double de celle d'un autre balancier de même force, puiſque celui qui ſeroit peſant, quoiqu'en ſe mouvant plus lentement, auroit des frottements doubles de l'autre.

1832. Nous ne faiſons pas entrer ici les réſiſtances de l'air, dont la conſidération n'eſt pas fort eſſentielle pour mon objet : car quoique cette réſiſtance augmente d'autant plus que la vîteſſe du balancier eſt plus grande, & préſente une plus grande ſurface ; comme cette réſiſtance eſt toujours à peu-près la même, il arrive qu'elle détruit continuellement une même quantité de mouvement, ce qui n'arrive pas dans le cas des frottements des pivots, ces frottements allant en augmentant à meſure que les huiles ſe deſſechent, que les pivots perdent de leur poli ; & ces changements ſont d'autant plus conſidérables que le frottement eſt plus grand : il eſt donc bien eſſentiel de le réduire à la moindre quantité poſſible, afin de les rendre plus conſtamment les mêmes, ce qui dans ce cas ſeroit la même choſe que ſi on les réduiſoit à rien (1822) : d'ailleurs il faut obſerver que la réſiſtance que l'air oppoſe au mouvement des balanciers eſt peu conſidérable, puiſque ce fluide n'eſt point déplacé ; ainſi ce frottement eſt beaucoup plus petit qu'il ne ſeroit, ſi le balancier étoit formé par des poids, comme, par exemple, des petites boules ou lentilles.

III. PROPOSITION.

1833. SI on a un balancier grand & peſant, dont la vîteſſe ſoit moins grande que celle d'un autre balancier petit & moins peſant, la force du grand ſera moins grande relativement au frottement, c'eſt-à-dire, que le grand balancier aura une moindre puiſſance pour vaincre les obſtacles qui s'oppoſent à ſon mouvement, que n'aura le petit. Soit *A* le grand balancier & *B* le petit, nous ſuppoſons que le diametre & la peſanteur de *A* eſt au diametre & à la peſanteur de *B* comme 2 eſt à 1 : nous ſuppoſons encore qu'ils décrivent des arcs ſemblables, mais que les oſcillations de *A* ſont au nombre des oſcillations de *B* pendant le même temps, comme 1 eſt 5 : pour avoir la force de l'un & de l'autre balancier, il faut multiplier la maſſe par le quarré de la vîteſſe ; or pour avoir la vîteſſe,

vîteſſe, il faut multiplier les diametres par les nombres de vibrations ; ainſi 2 diametre de *A*, multiplié par 1 oſcillation, donne 2 ; & 1 diametre de *B*, multiplié par 5 vibrations donne 5 : donc la vîteſſe de *A* eſt à celle de *B*, comme 2 eſt à 5, dont les quarrés ſont 4 & 25, leſquels étant multipliés par les maſſes 2 & 1, donnent 8 pour la force du balancier *A*, & 25 pour celle du balancier *B*. Tel eſt le rapport des forces ; examinons celui des frottements : les frottements étant, comme nous l'avons dit, le produit de la maſſe par l'eſpace parcouru, & ſuppoſant toujours les mêmes groſſeurs des pivots dans l'un & l'autre balancier, l'eſpace parcouru par les pivots de *A*, ſera à l'eſpace parcouru par ceux de *B*, comme 1 eſt à 5, c'eſt-à-dire, comme le nombre des vibrations de *A* à celui de *B* ; multipliant donc 1 par la maſſe 2 de *A*, on a 2 : multipliant de même 5 battements de *B* par la maſſe 1, on a 5 ; c'eſt-à-dire, que les frottements du balancier *A* ſont à ceux de *B*, comme 2 eſt à 5 ; or 2 eſt plus grand relativement à 5, que la force 8 du balancier *A* n'eſt à la force 25 du balancier *B* : le balancier *B* a donc plus de force pour vaincre les réſiſtances au mouvement, que n'a le balancier *A* pour vaincre les ſiennes.

1834. Lorſque nous traiterons des effets que produit la chaleur & le froid ſur l'huile des pivots des balanciers, nous ferons voir que les écarts de la montre ſeront d'autant plus grands que la force du balancier ſera plus petite & les pivots plus gros, &c ; d'où nous conclurons l'avantage d'employer des balanciers qui ayent une certaine force de mouvement que nous limiterons ; il ſeroit donc encore préférable d'employer un petit balancier léger qui feroit un plus grand nombre de vibrations, plutôt que d'employer un grand balancier peſant qui feroit des vibrations fort lentes ; ainſi un balancier grand & léger qui fait des vibrations promptes, eſt à plus forte raiſon préférable à un grand balancier peſant, qui fait des vibrations lentes.

1835. Nous avons vu l'avantage des grands balanciers

à vibrations promptes ; comparons maintenant l'étendue des vibrations d'un même balancier.

1836. Si la force d'un balancier eſt donnée, on peut la produire de deux manieres ; ou par des grands arcs décrits par un balancier léger, ou par des petits arcs décrits par un balancier peſant : voyons quelle eſt la maniere la plus avantageuſe, en ſuppoſant le même diametre de balancier, & le même nombre de vibrations.

1837. Pour que la force du balancier ſoit égale dans l'un & l'autre cas, il faut que les maſſes ſoient en raiſon inverſe du quarré des vîteſſes, c'eſt-à-dire, des arcs parcourus : j'appelle *A* le balancier léger qui parcourt, je ſuppoſe, des arcs doubles du balancier peſant, que j'appelle *B* ; pour que les forces des balanciers *A* & *B* ſoient égales, il faut, ſelon le principe, que la maſſe du balancier *A* ſoit à celle de *B*, comme le quarré de la vîteſſe de *B* eſt à celle de *A* ; or, ſelon notre ſuppoſition, la vîteſſe de *A* eſt à celle de *B*, comme 2 eſt à 1 ; la maſſe de *A* doit donc être à celle de *B*, comme le quarré de 1 eſt au quarré de 2, c'eſt-à-dire, comme 1 eſt à 4 ; la maſſe du balancier *B* doit donc être quatre fois plus grande que celle de *A* ; or le frottement étant le produit de la maſſe par l'eſpace parcouru, le frottement de *A* ſera la maſſe de 1 par la vîteſſe 2, qui donne 2 ; & le frottement du balancier *B* ſera le produit de la maſſe 4, par la vîteſſe 1 qui donne 4 ; le frottement de *B* ſera donc double de celui de *A* ; d'où l'on voit qu'ayant un balancier dont le diametre & le nombre des vibrations eſt donné ainſi que la quantité de la force motrice, il eſt préférable de faire parcourir de grands arcs, en employant un balancier moins peſant, plutôt que de faire parcourir des petits arcs avec un balancier peſant.

CHAPITRE XXIX.

Des Frottements ; pour ſervir à la théorie des Montres : des effets du chaud & du froid ſur l'huile que l'on met aux Machines qui meſurent le temps, afin d'en diminuer les frottements.

1838. DEUX corps qui ſe meuvent, gliſſent ou roulent l'un ſur l'autre ; ils éprouvent une réſiſtance qui détruit une partie du mouvement du corps qui ſe meut : on appelle *frottement* cette réſiſtance.

1839. Pour bien entendre ce que c'eſt que le *frottement*, il faut ſavoir que tous les corps ſont formés par des parties de matiere qui ne ſont pas intimement liées les unes aux autres, mais qui ſont ſéparées par des cavités ou *pores*, enſorte que la ſurface de ces corps ne peut jamais être parfaitement unie : il reſte donc des éminences & des creux qui quoiqu'imperceptibles à notre vue, diminuent ſenſiblement la force du corps qui ſe meut ; car lorſque ce corps tourne ou ſe meut ſur un autre, les éminences dont ſa ſurface eſt formée, entrent dans les cavités de celui qui eſt en repos ; & il arrive, que pour en ſortir & pour continuer le mouvement, il faut, ou que les parties des matieres ſe déchirent, ou que le corps qui ſe meut s'éleve au-deſſus d'un certain niveau, puis retombe au-deſſous, puiſque les éminences entrent & ſortent alternativement dans les cavités ; or l'un ou l'autre de ces effets ne peut être produit ſans que le corps perde de ſa force.

1840. Tous les corps qui ſe meuvent ont donc du frottement ; ainſi les roulements des pivots des roues & balanciers

des montres ou pendules, cauſent néceſſairement du frottement, enſorte que la force que nous avons calculée, & qui eſt tranſmiſe par la force motrice à la circonférence d'une roue quelconque, eſt diminuée par les frottements des pivots des roues ; ainſi pour que cette force à la circonférence ſoit telle qu'on l'a calculée, il faut augmenter la force motrice.

De la maniere de réduire le frottement.

1841. 1°, On diminue le frottement, en rendant les pivots des roues qui ſe meuvent avec vîteſſe, les plus petits qu'il ſe peut.

1842. 2°, En ne donnant à ces roues que la peſanteur la plus petite poſſible, & telle que ces roues ſoient d'une ſolidité relative à l'effort qu'elles ont à vaincre.

1843. 3°. En faiſant les pivots durs & leurs ſurfaces très-unies.

1844. 4°, En faiſant enſorte que les parties du corps ſur lequel roulent les pivots, ſoient les plus ſerrées qu'il eſt poſſible.

1845. 5°, Lorſque les pivots étant d'acier le plus fin, roulent ſur une matiere dont les pores ſoient d'un tiſſu différent de ceux de l'acier, comme ſur le cuivre, par exemple, ou bien ſur un mélange d'étain & de zinck, en faiſant une matiere ſemblable à celle des timbres ; il ſeroit encore mieux de faire rouler les pivots dans le diamant, s'il étoit poſſible d'y faire parfaitement un trou fin.

1846. Enfin on diminue le frottement en mettant des matieres graſſes & fluides, comme de l'huile aux trous des pivots des roues, ou dans toute partie frottante ; parce que cette matiere bouche l'ouverture des pores, comble les cavités, & unit les éminences des ſurfaces.

1847. La conſidération des frottements eſt fort eſſentielle dans les montres, ſur-tout pour les pivots d'un balancier, à cauſe de la grande vîteſſe du mouvement qu'exige ce régulateur. La roue d'échappement d'une montre ou d'une horloge, exige

auſſi que l'on ait égard à ces frottements, & qu'on les réduiſe à la plus petite quantité : on verra, à chaque partie que nous traiterons de l'Horlogerie, les effets des frottements, & la maniere de les diminuer ; ainſi nous ne ferons point d'article particulier ſur cette matiere ; je me contenterai de rapporter le précis des expériences qui ont relation à l'Horlogerie, leſquelles ont été faites par Muſſchembroek, remettant à un autre temps à conſtruire des machines, pour faire ou pour répéter ces expériences : voici donc ce que ce Phyſicien a conclu.

1848. La force requiſe pour faire tourner un cylindre ou aiſſieu d'acier bien rond & bien poli ſur des couſſinets ou trous de cuivre rouge eſt la $\frac{1}{6}$ partie du poids du cylindre appliqué à la circonférence de la partie frottante : il faut pour cela que la vîteſſe ſoit preſque égale à zéro ou très-petite.

1849. Ce cylindre exige ainſi la $\frac{1}{7}$ partie de ſon poids, lorſqu'il roule à ſec ſur les couſſinets ; mais lorſqu'on y met de l'huile, il n'exige plus que la $\frac{1}{8}$ partie de ſon poids ; ces quantités expriment donc la quantité de force qu'il faut appliquer pour vaincre les frottements ; on trouve à peu-près la même choſe, lorſque l'axe tourne dans les couſſinets de cuivre jaune, à cela près cependant que ſi l'on charge l'aiſſieu de différents poids, le frottement n'augmente pas autant qu'avec les couſſinets de cuivre rouge.

1850. Lorſque l'aiſſieu roule ſur des couſſinets de plomb, il éprouve les mêmes frottements que dans le cuivre jaune.

1851. Si on fait rouler l'aiſſieu ſur des couſſinets qui ſoient auſſi d'acier, alors il faudra appliquer à la circonférence de l'aiſſieu le quart de ſon poids lorſqu'il tourne à ſec ; mais ſi l'on y met de l'huile, il ne faudra que la ſixieme partie de ſon poids.

1852. Selon la table de Muſſchembroek, lorſqu'on fait tourner l'aiſſieu ou cylindre ſur des couſſinets d'étain, le frottement eſt pareil au précédent, lorſqu'il tourne à ſec, c'eſt-à-dire, le quart du poids du cylindre.

1853. Le frottement devient plus grand lorſque le poids

augmente ſur l'aiſſieu, quoique l'aiſſieu reſte le même; cela arrive, parce qu'en chargeant l'aiſſieu, les éminences de la ſurface ſont pouſſées plus profondément dans les cavités des couſſinets; c'eſt pourquoi, avant que l'aiſſieu puiſſe tourner, les parties doivent être courbées davantage, ou ſe rompre plus près de leur origine: dans ces deux cas, la réſiſtance contre le mouvement, c'eſt-à-dire le frottement, doit devenir plus grand; il paroît encore que le frottement augmente dans un plus grand rapport que le poids ſur l'aiſſieu.

1854. Lorſque les corps ne ſe meuvent pas avec beaucoup de rapidité les uns ſur les autres, le frottement eſt d'ordinaire en raiſon de la vîteſſe. Ce rapport n'eſt pas toujours exact; car lorſque ce mouvement des corps eſt fort rapide, le frottement augmente conſidérablement. Nous devons obſerver ici qu'il ne paroît pas que les expériences de Muſſchembroek prouvent rien de certain ſur les frottements qui réſultent de l'augmentation de ſurface, le poids reſtant le même: Amontons a prétendu le premier que l'augmentation de ſurface n'augmente pas le frottement (*), ce qui me paroît très-vraiſemblable, quoique ce principe ſoit contredit par d'autres Phyſiciens; le Docteur Deſaguliers, appuie par des expériences le ſentiment d'Amontons; voyez tome I, page 270 de ſa Phyſique expérimentale: on doit entendre ici par cette augmentation de ſurface la poſition d'un même corps de métal que l'on feroit mouvoir ſur un plan horizontal, tantôt à plat & tantôt ſur le côté.

1855. Cela doit auſſi s'entendre d'un cylindre que l'on feroit rouler ſur des couſſinets plus minces ou plus épais; le frottement ſeroit alors égal ou à très-peu de choſe près. Mais quand même il arriveroit que le frottement par la moindre ſurface fût moindre pour le moment actuel, il ne s'enſuit pas delà que cette maniere ſoit préférable; car lorſqu'un corps peſant qui roule ſur un autre, ne poſe que ſur une petite ſurface, alors les parties de matiere ſe pénetrent plus avant

(*) Voyez Mémoires de l'Académie 1699, page 211.

& ſe déchirent par la ſuite du mouvement ; ainſi le frottement augmente & varie.

1856. Si on fait alternativement tourner le même corps ſur des pivots qui ſoient de différents diametres, alors les frottements augmenteront comme les diametres.

1857. Nous ne nous arrêterons pas davantage à cet objet, réſervant à le traiter plus au long par la ſuite : on peut au reſte conſulter les Auteurs que nous venons de citer.

1858. On trouvera dans Deſaguliers la maniere de calculer l'effet des frottements dans une machine, & trouver exactement la force qui eſt tranſmiſe à la derniere roue d'une machine quelconque : voyez Phyſique de Deſaguliers, tome premier, page 198.

De l'effet des Huiles pour diminuer le frottement.

1859. L'HUILE étant une liqueur graſſe, dont les parties s'introduiſent dans les cavités de la matiere, ſoit du cuivre ſur leſquels les pivots roulent, ou ſur l'acier dont ces pivots ſont formés, il arrive que les éminences des pivots n'entrent que foiblement dans les cavités du corps ſur lequel ils roulent ; mais au contraire qu'ils gliſſent ſur les parties très-déliées de l'huile, comme ſur des petits rouleaux, enſorte que par ce moyen le frottement eſt conſidérablement diminué.

1860. Le frottement reſte aſſez conſtamment le même, toutes les fois que l'huile eſt également fluide ou mobile ; mais ſi l'huile s'épaiſſit, les pivots éprouvent une plus grande réſiſtance, ce qui diminue la force que la roue ou le balancier a pour ſe mouvoir : examinons ces effets de l'huile.

1861. 1°, L'huile s'épaiſſit à la longue par la raiſon qu'il s'en évapore les parties les plus fluides.

1862. 2°, L'huile s'épaiſſit ou devient moins fluide, parce qu'il ſe détache quelques particules des parties frottantes des pivots & des trous, & qu'il s'introduit des atômes avec l'huile ; tout cela s'amalgame enſemble, & forme une matiere pâteuſe & gluante, qui non ſeulement diminue la

force de mouvement de la roue ou du balancier, mais encore cette matiere ronge & détruit les pivots & les trous : il eſt donc très-eſſentiel de diſpoſer les trous des pivots, de maniere que l'huile s'y conſerve long-temps en certaine quantité, & que les pivots par leurs roulements ne s'uſent pas ; il eſt eſſentiel auſſi de faire choix de bonne huile, & de la changer de temps à autre.

1863. Pour empêcher la deſtruction des parties des pivots & des trous, il faut appliquer ici le même raiſonnement dont nous nous ſommes ſervis, Chapitre XI, (1553) pour les ſuſpenſions à couteau ; c'eſt-à-dire, que ſi le balancier ou une roue eſt plus peſante, pour que le frottement des pivots n'augmente pas en raiſon du poids, il faut que les pivots portent ſur un plus grand nombre de parties, c'eſt-à-dire, qu'ils ſoient plus long ; de cette maniere chaque petite partie du pivot ne portera pas un plus grand poids qu'il n'auroit fait, ſi le pivot étoit plus court, & le balancier ou la roue plus légere.

1864. Enfin l'huile devient plus ou moins fluide & mobile, ſelon qu'il fait chaud ou froid : lorſqu'il fait froid, l'huile devient épaiſſe & immobile, & il arrive, que non-ſeulement les pivots ne gliſſent plus ſur les petits globules ou rouleaux que forme l'huile lorſqu'elle eſt fluide, mais qu'au contraire, elle forme une matiere pâteuſe qui entoure les pivots, & diminue conſidérablement la tendance qu'ils ont à ſe mouvoir (c'eſt-à-dire, la force de la roue ou du balancier).

1865. La force perdue par la roue ou par le balancier, lorſque l'huile eſt épaiſſie par le froid, ſera d'autant plus grande que la quantité de mouvement du balancier ou de la roue ſera petite : ſi donc l'on a une roue d'échappement de montre ou de Pendule, ou bien un balancier, qui ſe meuve avec une force infiniment petite, & que l'on ſuppoſe que l'huile miſe aux pivots étant fluide, eſt enſuite expoſée au grand froid ; il arrivera de deux choſes l'une, ou que la réſiſtance que l'huile épaiſſie cauſera, détruira toute la force de mouvement de la roue ou du balancier, & arrêtera

ſon

ſon mouvement, ou que cette réſiſtance détruira une très-grande partie de la force de la roue : or la réſiſtance de l'huile étant ſenſiblement la même, quelle que ſoit la force de mouvement de la roue ou du balancier, il ſuit delà, que plus la roue ou le balancier aura de force pour ſe mouvoir, & moins l'épaiſſiſſement de l'huile par le froid diminuera ſon mouvement ; enſorte que ſi la force d'un balancier *A* eſt 12 fois plus grande que celle d'un balancier *B*, & que l'on ſuppoſe que l'huile épaiſſie par le froid, retranche la moitié de la force de *B*, le même froid ne retranchera que la 24e partie de la force du balancier *A* : donc pour vaincre la réſiſtance de l'huile, il faudra que la force qui fait mouvoir *A*, ſoit augmentée de la 24e partie, pendant que pour vaincre les réſiſtances de l'huile en *B*, la force qui en entretient le mouvement devra être double ; d'où l'on voit que les dérangements cauſés par l'épaiſſiſſement de l'huile, ſont d'autant plus grands que la force des mouvements de la roue ou du balancier eſt petite ; par conſequent, le balancier *A* n'aura en été, lorſque les huiles ſont fluides que $\frac{1}{14}$ de force de plus qu'en hiver ; tandis que celle de *B* ſera double : or cette inégalité de force de *B* produira des effets ſemblables à ceux que donneroit une force motrice double ; ce qui ne peut manquer de troubler l'iſochroniſme des vibrations, comme nous le verrons ci-après.

1866. Il faut donc, pour éviter cet effet des huiles, que le balancier ait une grande quantité de mouvement, & d'autant plus grande que ſes pivots ſeront plus gros, & le balancier plus petit, &c.

REMARQUE.

1867. LES montres qui vont un mois ou un an, ont néceſſairement des balanciers qui ont peu de force de mouvement ; ainſi les changements cauſés par le froid, doivent y produire des plus grands écarts que dans les montres de 30 heures ; à moins que l'on ne pût augmenter la force en raiſon du temps qu'elles marchent de plus, ou bien diminuer les frottements des pivots dans la même raiſon.

1868. Nous n'examinerons point ici la quantité réelle des frottements : ce calcul dépend d'un grand nombre d'expériences particulieres qu'il faudroit faire ſur chaque cas du mouvement ; & pour le moment préſent, ces expériences nous manquent, & deviennent aſſez inutiles pour l'Horlogerie; car ſi l'on a une machine quelconque à conſtruire, on parviendra à réduire les frottements à la moindre quantité par les moyens ſuivants :

1869. 1°, Si on ne donne pour grandeur & peſanteur aux roues & autres parties de cette machine, que les quantités requiſes pour les efforts qu'elles ont à vaincre.

1870. 2°, Si l'on a ſoin de proportionner la groſſeur & la longueur des pivots au poids des roues ou balanciers, à la preſſion du moteur, & relativement à leur vîteſſe.

1871. 3°, Que les corps que l'on emploiera ſeront les plus durs qu'il ſe pourra, en obſervant de ne pas faire agir l'un ſur l'autre deux corps de même eſpece, c'eſt-à-dire, acier contre acier, & cuivre contre cuivre ; mais au contraire que l'acier agiſſe ſur le cuivre, &c.

1872. 4°, En appliquant pour moteur à cette machine la quantité abſolument requiſe pour en entretenir le mouvement.

1873. Ayant ainſi conſtruit une machine, il eſt évident que l'on en réduit les frottements à la plus petite quantité, & que toutes les données que l'on auroit déterminées difficilement par le calcul, y ſont cependant entrées.

1874. Si l'on a un corps, balancier ou régulateur quelconque à mettre ou à entretenir le mouvement qui ſoit donné, & que la force motrice ſoit limitée, ainſi que la durée de la marche de la machine ; dans ce cas il faudroit déterminer par le calcul les frottements d'une telle machine, afin de connoître ſi la force requiſe, pour mettre le corps en mouvement, jointe à la réſiſtance des frottements, n'eſt pas plus grande ou plus petite que la force motrice donnée; mais ce cas particulier n'a j'amais lieu dans les machines qui ſervent à la meſure du temps ; car il eſt toujours poſſible d'augmenter

ou de diminuer la force motrice ſelon qu'il eſt beſoin, ſoit pour le régulateur, ou pour vaincre les frottements des roues, &c.

1875. Il eſt très-eſſentiel d'obſerver, par rapport aux frottements d'une montre ou d'une horloge à pendule, & même d'une machine quelconque, que ce n'eſt pas tant la quantité abſolue du frottement, à laquelle il faut avoir égard, qu'à ſa conſtante uniformité; car quoiqu'une machine ait moins de frottements qu'une autre, on n'en doit pas conclure qu'elle eſt meilleure, à moins que ces frottements ne ſoient de nature à ne pas changer par le mouvement de la machine; car ſans cela, il ſeroit préférable que la quantité abſolue des frottements fût plus grande, mais en même temps, que le mouvement ne les altérât pas : c'eſt ainſi que ſi on fait rouler un balancier peſant ſur des pivots qui ne portent que ſur des trous minces, les frottements pourroient bien être moindres dans l'inſtant actuel; mais la preſſion du balancier fera entrer les éminences qui ſont à la ſurface des pivots, dans les cavités de la ſuperficie des trous, ce qui déchirera inſenſiblement & la ſurface du pivot & celle du trou; enſorte que le trou s'agrandira & que les frottements augmenteront ſenſiblement.

1876. Il faut auſſi obſerver que la matiere ne peut porter qu'un certain poids, ſans que les parties de celui qui preſſe entrent dans les cavités de celui qui porte, & que le mouvement n'en déchire les petites particules de matiere; cette quantité eſt relative à la dureté des corps : c'eſt ainſi qu'il faudra un poids très-conſidérable pour que le diamant ſe pénetre par la preſſion & le mouvement. Il faudra un moindre poids à meſure que la preſſion ſe fera ſur des corps moins durs; à moins que l'on n'augmente la ſurface à proportion du poids, & à meſure que les corps ſont moins durs; or, par rapport aux pivots, il faut augmenter la longueur de l'appui autant que cela ſe peut, & préférablement à la groſſeur du pivot; car l'un n'augmente pas la réſiſtance au mouvement, au lieu que la réſiſtance par la groſſeur augmente comme les diametres des pivots.

1877. Dans les premiers mobiles, il faut tenir les pivots

plus gros & plus longs, par la raiſon que la preſſion étant plus forte, il faut proportionner la ſurface pour que les pivots & les trous ne ſe déchirent pas; & à meſure que les mobiles ſont plus éloignés de la premiere roue, c'eſt-à-dire, que la force eſt moins grande, il faut diminuer la groſſeur des pivots, leur longueur, & la peſanteur des roues.

1878. Outre l'eſpece de frottement dont nous avons parlé, il y en a une autre, que tout corps qui ſe meut éprouve: c'eſt celui de l'air.

1879. Le frottement de l'air doit être conſidéré dans les pendules par le déplacement que la lentille occaſionne par ſon mouvement: voyez Chapitre XII, (art. 1560). Par rapport aux balanciers des montres & aux roues, ſoit des montres, ſoit des pendules; le frottement de l'air eſt ſi foible, qu'on peut très-bien en négliger la conſidération; car les roues déplacent peu d'air, & la réſiſtance que ce fluide oppoſe à leurs mouvements, étant à peu de choſe près conſtamment la même, cela ne produit qu'une variation infiniment petite dans le mouvement des balanciers ou des roues. Pour mieux juger de l'effet de la réſiſtance de l'air, nous rapporterons ce que dit à ce ſujet M. Daniel Bernoulli, Mémoires de l'Académie, année 1747, page 32; piece qui a remporté le prix: « Une » autre ſource de variation des arcs décrits par le pendule, eſt » la différente denſité de l'air; &, tout le reſte étant égal, » les arcs ſont réciproquement proportionnels aux racines » cubiques des denſités de l'air: or la plus grande denſité de » l'air eſt à la plus petite dans nos climats, environ comme » 6 eſt à 5; donc le plus grand arc ſera au plus petit » à cet égard, comme $\sqrt[3]{6}$ à $\sqrt[3]{5}$, ou comme 1062 à » 1000: le plus grand arc étant donc de 4 deg. 20 ſecondes, » le plus petit ſera à cet égard de 4 deg. 5 ſecondes; & cette » différence vaut environ trois quarts de ſeconde dans la » marche de l'horloge ». Si donc le changement dans la peſanteur de l'air cauſe une ſi petite variation au pendule qui déplace beaucoup d'air, il ne doit pas en cauſer de fort grande au balancier. Il eſt vrai que le balancier a une plus grande ſur-

face, relativement à ſa force de mouvement, que n'a le pendule; mais il déplace auſſi moins d'air : au reſte, nous pourrons examiner cette matiere dans la ſuite.

CHAPITRE XXX.

Des effets du Chaud & du Froid ſur les Montres. Comment il arrive que la chaleur retarde, ou accélére la vîteſſe des vibrations du Balancier, ſelon la nature des Frottements, la diſpoſition du Balancier, &c, & produit ainſi des effets contraires.

I. PROPOSITION.

1880. LA vîteſſe des vibrations du balancier étant déterminée, article (1815), par la force du ſpiral, il arrive que le froid augmentant la tenſion du ſpiral, les vibrations du balancier ſe font plus vîte; & au contraire, la chaleur en dilatant le ſpiral diminue ſa force, enſorte que les vibrations du balancier ſont plus lentes.

II. PROPOSITION.

1881. La vîteſſe des vibrations d'un balancier ne dépend pas uniquement de la force du ſpiral; car ſi le balancier eſt plus peſant, le ſpiral reſtant le même, les vibrations ſeront non-ſeulement plus lentes par l'augmentation d'inertie, mais encore par la plus grande réſiſtance des frottements : ainſi, en ne conſidérant ici que les frottements des pivots, on voit que la vîteſſe des vibrations eſt ralentie par ce frottement, & que, ſelon que les frottements d'un balancier ſont plus ou moins

grands, les vibrations ſont plus promptes ou plus lentes : ou le froid rend les huiles des pivots plus épaiſſes, ce qui rend les frottements plus grands, & par conſequent cela tend à faire retarder la vîteſſe du balancier.

1882. Voilà donc deux effets contraires produits par la même cauſe (le froid) : par la premiere propoſition, le froid rendant la tenſion du ſpiral plus grande, augmente la vîteſſe du balancier ; & par la ſeconde propoſition, le même froid tend à retarder la vîteſſe du balancier, en rendant les huiles plus épaiſſes. Le contraire arrive par la chaleur.

1883. Or cet effet du froid ſur l'huile des pivots de balancier devient d'autant plus ſenſible que les frottements ſont grands ; c'eſt-à-dire, que, 1°, les pivots ſont plus gros ; 2°, le balancier plus petit ; 3°, que l'eſpace parcouru par les pivots eſt plus grand : ainſi une montre qui a un petit balancier qui parcourt de grands arcs, & qui a de gros pivots, doit avancer par la chaleur & retarder par le froid ; car, dans ce cas, l'augmentation du frottement ralentira plus le mouvement du balancier, que l'augmentation de force du ſpiral ne tend à l'accélérer.

1884. Le contraire arrivera ſi le balancier eſt fort grand, les pivots très-petits, & qu'il décrive de petits arcs ; car dans ce cas les frottements ſeront les plus petits poſſibles ; enſorte que leur augmentation par le froid ne ralentira pas autant le mouvement du balancier, que l'augmentation de force du ſpiral par le même froid ne l'accélérera.

1885. Si on ſuppoſe maintenant que le même balancier a de forts gros pivots, cela occaſionnera un frottement qui changera la vîteſſe du balancier, ſelon que l'huile ſera plus ou moins fluide ; c'eſt-à-dire, que lorſqu'il ſera froid, l'huile étant moins fluide, cela retardera la vîteſſe du balancier : ainſi cette vîteſſe du balancier ſera déterminée par deux cauſes oppoſées, l'une par laquelle le balancier tendra à aller plus vîte, c'eſt la tenſion du ſpiral par le froid ; l'autre par laquelle le mouvement du balancier ſera ralenti par le froid, c'eſt la réſiſtance des huiles. Il y a donc une certaine groſſeur de

pivots qui produira un tel effet, que le froid fera retarder la montre, malgré la tendance du ſpiral à l'augmenter par le froid : c'eſt lorſque les pivots étant trop gros, la réſiſtance des pivots ralentira plus le mouvement du balancier, que ce mouvement n'eſt accéléré par la tenſion du ſpiral par le même froid.

1886. Il y aura auſſi un point où le froid accélérera la vîteſſe du balancier ; c'eſt lorſque les pivots ſeront très-petits & auront peu de frottements : (article 1883).

1887. Enfin il y aura une telle groſſeur à donner aux pivots du balancier, pour que le froid n'accélere ni ne retarde ſon mouvement ; c'eſt celle où le froid ralentira autant le mouvement du balancier, par l'augmentation de frottement par le froid, que le même froid agiſſant ſur le ſpiral tendra à augmenter la vîteſſe du balancier ; enſorte que ces deux cauſes qui auroient dû être un obſtacle à la juſteſſe des montres, s'entre-détruiront, & cauſeront la plus grande juſteſſe poſſible.

1888. Maintenant, ſi au lieu de faire varier la groſſeur des pivots, à laquelle on ne doit pas toucher, étant une fois donnée, c'eſt-à-dire, lorſque les pivots ſont d'une groſſeur convenable & relative à la preſſion qu'ils éprouvent ; ſi, dis-je, on laiſſe les pivots en augmentant ou diminuant l'eſpace parcouru, on trouvera les mêmes choſes, c'eſt-à-dire, 1°, que ſi les pivots d'un balancier ſont auſſi petits qu'il eſt poſſible, & que l'on faſſe décrire des petits arcs au balancier, le froid agiſſant ſur les pivots, ne retardera pas autant le mouvement du balancier, que le même froid agiſſant ſur le ſpiral tend à l'accélérer, c'eſt-à-dire, qu'une telle montre avancera par le froid, & retardera par la chaleur.

1889. 2°, Qu'à meſure que l'on fera décrire de plus grands arcs, le même froid fera avancer la montre d'une moindre quantité ; & juſqus-là, que parvenu à une certaine étendue d'arcs, la réſiſtance qu'oppoſe le froid aux pivots pour ſe mouvoir, ralentira plus les vibrations que la tenſion du ſpiral par le même froid ne tend à les accélérer : il y a donc encore

une certaine limite où un balancier étant donné, ainſi que ſa peſanteur & la groſſeur des pivots, on parviendra à détruire les effets du chaud & du froid, en augmentant & diminuant l'étendue des arcs: c'eſt ce que l'on obtiendra par l'augmentation ou diminution de la force motrice, ainſi que je le ferai voir en rapportant les expériences très-délicates que j'ai faites pour confirmer ma théorie.

1890. Enfin, ſi au lieu de diminuer ou d'augmenter la force motrice, on augmente ou diminue le poids du balancier, on parviendra également à corriger les écarts du chaud & du froid; car ſi une montre avance par la chaleur (les pivots étant fins), on peut conclure que la force motrice eſt trop grande, puiſque les arcs parcourus par le balancier ſont trop grands: ainſi en faiſant un balancier plus peſant, on diminue l'étendue des arcs; on diminuera par-là le retard de la montre par le froid, & au contraire, &c.

1891. Il ſuit de-là que les arcs de vibration doivent varier, ſelon que le balancier aura une plus ou moins grande quantité de mouvement; car ſi le balancier a une grande quantité de mouvement, c'eſt-à-dire, qu'il ſoit mû par une grande force motrice, alors la réſiſtance des huiles aura un moindre rapport avec cette force (1865); ainſi, pour compenſer l'effet du chaud & du froid ſur le ſpiral, le balancier devra décrire de grands arcs de vibration; & au contraire, ſi la force motrice eſt foible, le balancier aura une moindre quantité de mouvement, & les réſiſtances des huiles auront un plus grand rapport avec la force de mouvement; ainſi l'arc de vibration devra être moins grand: c'eſt pour cette raiſon que dans les montres à vibrations lentes, dont la quantité de mouvement eſt petite, il faut donner peu de levée à l'échappement, afin qu'en diminuant l'étendue des arcs de vibration, pour empêcher les variations du chaud & du froid, les arcs ſoient cependant plus grands que ceux de levée: c'eſt en faiſant uſage de cette remarque que l'on parviendra à compenſer les effets du chaud & du froid dans les montres à un mois.

1892. Au reſte, il eſt bon d'obſerver que cette matiere

eſt

très-délicate, & que pour corriger ces écarts, il faut avoir saisi l'esprit de la théorie, sans quoi on pourroit fort bien toucher à une de ces choses à contre-sens, c'est-à-dire, diminuer la force motrice lorsqu'il faut augmenter le poids du balancier, ou diminuer les pivots & augmenter la masse. Je rapporterai ci-après la maniere dont j'ai procédé pour mes expériences, ce qui éclaircira encore cet objet.

1893. Enfin il suit de ces principes que les pesanteurs des balanciers, les arcs qu'ils parcourent sont variables d'une infinité de manieres, & que cela dépend des grosseurs des pivots, de la quantité de force motrice, du nombre des vibrations, de la grandeur des balanciers; & que les rapports changent, selon qu'une ou plusieurs de ces choses different: on ne peut donc pas assigner exactement la quantité absolue de ces choses, sans avoir auparavant établi de bonnes expériences faites sur des montres où l'on ait réduit les frottements à la quantité convenable, & construites d'après les principes établis; alors on en construira d'autres qui ayant des dimensions différentes, auront la plus grande justesse qu'il soit possible de leur donner: c'est ce que nous verrons dans les Chapitres suivants, après que nous aurons rapporté quelques expériences.

REMARQUE.

1894. SI on pouvoit détruire entiérement les frottements ou les effets de l'huile sur une montre, elle feroit alors des écarts considérables par les changements de température; car alors le froid ou le chaud agissant uniquement sur le spiral, & celui-ci étant susceptible de plus ou de moins d'élasticité par le chaud & le froid, la montre avanceroit ou retarderoit, selon qu'elle éprouveroit plus ou moins de chaleur, comme nous le ferons voir en traitant de l'Horloge marine, Chap. XLIII; d'où l'on voit que cet obstacle des huiles & des frottements qui semblent s'opposer à la justesse des montres, est au contraire une des principales causes de leur justesse; car si l'action du froid sur le spiral tend à accélérer les vibrations du balan-

cier, la même action ſur les huiles diminue la liberté du balancier & retarde les vibrations. C'eſt en combinant ces effets qu'on parvient à les détruire l'un par l'autre, & à compenſer l'action du chaud & du froid ſur la montre ; ce qui ſupplée au méchaniſme que j'ai imaginé pour mon Horloge marine ; voyez Chapitre XLI : & ſi juſqu'ici on a fait des montres qui vont bien, c'eſt que, ſans le vouloir, les frottements ont compenſé d'eux-mêmes l'action du chaud & du froid ſur le ſpiral.

1895. Quant aux effets que le froid ou le chaud produiſent ſur le grand reſſort d'une montre, nous croyons que l'on peut en négliger la conſidération, & que cela tend foiblement à déranger la juſteſſe du régulateur, lorſque la machine eſt bien diſpoſée ; car ſi d'un côté le froid augmente la force du reſſort moteur, de l'autre le froid augmente la réſiſtance ou frottements des roues, par l'épaiſſiſſement ou coagulation des huiles des pivots ; enſorte que la force communiquée au régulateur par la roue d'échappement eſt preſque la même par le chaud ou par le froid. Examinons cependant plus particuliérement encore ici l'effet que doit produire l'épaiſſiſſement des huiles ſur une montre, ſoit à cylindre, ou à roue de rencontre.

1896. La force motrice des montres eſt aſſez conſtamment la même au moyen de la fuſée ; & quoiqu'à la longue un reſſort perde de ſa force, la diminution n'en eſt pas aſſez conſidérable pour produire de grands écarts ; mais une choſe qui diminue aſſez l'action de la force motrice ſur le régulateur, eſt l'épaiſſiſſement des huiles : voyons quel effet cela doit produire ſur une montre à cylindre & ſur une montre à roue de rencontre. La diminution de force motrice dans la montre à cylindre, diminue la preſſion de la roue ſur le cylindre, ce qui la fait avancer, ainſi que nous l'avons expliqué & fait voir par l'expérience (1655) ; mais à meſure que les huiles des pivots des roues ſe coagulent, à meſure auſſi l'huile des pivots de balancier eſt coagulée, ce qui retarde la vibration du balancier ; ainſi il peut fort bien arriver qu'à une montre à cylindre, la coagulation de l'huile ne change pas la juſteſſe,

puiſque l'accélération cauſée par la diminution de force que les huiles coagulées ôtent aux roues, peut être compenſée par le retard que cauſe l'huile des pivots de balancier lorſqu'elle eſt coagulée.

1897. Nous verrons ci-après que dans les montres à roue de rencontre, la diminution de force motrice les fait retarder; or comme les huiles coagulées diminuent l'action des roues ſur l'échappement, ce ſera la même choſe que ſi on eût retranché la force motrice; ainſi la coagulation des huiles tend à faire retarder une montre à roue de rencontre. Mais à cette cauſe de retard il s'en joint une autre; c'eſt le retard cauſé par la coagulation de l'huile des pivots de balancier: une montre à roue de rencontre doit donc aller en retardant, à meſure que les huiles ſe coagulent; tandis que dans les montres à cylindre cela peut ſe compenſer: c'eſt peut-être ici le ſeul avantage d'une montre à cylindre ſur une montre à roue de rencontre.

1898. Au reſte, la quantité de variation cauſée par la coagulation des huiles, doit changer ſelon que les frottements ſont plus ou moins grands, & ſur-tout, ſelon la relation de la quantité de mouvement de la montre, & les réſiſtances des huiles; car ſi la quantité de mouvement de la montre eſt très-grande, les réſiſtances des huiles produiront de moindres effets par le froid, comme nous l'avons fait voir: le même raiſonnement eſt appliquable aux huiles coagulées.

1899. Enfin il peut arriver aux montres à cylindre, que la coagulation des huiles les faſſe avancer; comme ſi, par exemple, les pivots des roues étoient fort gros, & ceux du balancier très-petits, le balancier étant grand, & ayant beaucoup de mouvement; car les pivots des roues étant gros, lorſque les huiles ſeront coagulées, elles diminueront une grande partie de l'action de la roue d'échappement ſur le cylindre, ce qui accélèreroit les vibrations, (1655); or nous ſuppoſons que les pivots de balancier ſeroient fins, & le balancier grand; ainſi il arriveroit que la coagulation des huiles de ces pivots ne retarderoit pas autant les vibrations du balancier que la di-

minution de force de la roue d'échappement les accéléreroit : donc la montre avanceroit par la coagulation des huiles.

1900. Le contraire arrive, ſi on ſuppoſe que le balancier ſoit petit ou qu'il ait de gros pivots, &c. qu'enfin les pivots des roues ſoient proportionnellement plus petits.

1901. On peut juger par ces différentes obſervations, combien les montres doivent faire des écarts oppoſés par l'infinie variété de combinaiſons dont elles ſont ſuſceptibles, lorſqu'on n'eſt pas conduit par des principes ; ainſi on peut bien aſſurer, que ſi on n'a pas égard à ces combinaiſons qui avoient échappé à ceux qui ont traité de l'horlogerie, c'eſt au hazard qu'eſt dûe la juſteſſe des montres qui vont paſſablement.

1902. Les montres à roue de rencontre ont cet avantage très-eſſentiel, c'eſt de faciliter les moyens de proportionner la maſſe du balancier à la force motrice ; la perſonne la moins adroite pouvant le faire ; car, ſelon nos principes, ſi une telle montre avance par le chaud, c'eſt une preuve que le balancier eſt trop léger : or en fabriquant la montre, on peut lui donner une telle peſanteur que le chaud ni le froid n'y influent : c'eſt en faiſant d'abord tirer 24 min. (*) au balancier, & en la réglant, on peut l'éprouver du chaud au froid : ſi la chaleur fait retarder la montre, c'eſt une preuve que le balancier eſt trop peſant ; alors on fait tirer la montre 25 ou 26 minutes ; ce qui eſt relatif aux frottements des pivots : or on doit adopter un calibre, & faire toujours les pivots de même groſſeur ; alors en donnant le même poids au balancier, on peut, ſans éprouver chaque montre que l'on fait, les exécuter toutes, de maniere qu'elles ſoient à l'abri des écarts.

1903. S'il arrive qu'il y ait des montres à cylindre qui aillent mieux que celles à roue de rencontre, c'eſt que les Ouvriers qui les font y apportent infiniment plus de ſoins ; car ſi on donnoit les mêmes attentions à celles à roue de rencontre, elles iroient au moins auſſi bien, & on les feroit toujours par-

(*) Faire tirer 24 minutes à un balancier, eſt une expreſſion des Artiſtes, pour dire que la montre auroit retardé de 36 minutes par heure, ſi on avoit ôté le reſſort ſpiral du balancier.

faites à coup ſûr & ſans tâtonner, comme cela arrive à celles à cylindre, que nous regardons comme moins parfaites dans leurs principes, & d'autant plus que peu d'Ouvriers ont aſſez d'intelligence pour les conſtruire convenablement ou pour les reparer, choſe à laquelle il faut avoir bien égard, puiſque la plupart de nos ouvrages ſont pour l'étranger; & que s'il y arrive des accidents, on ne peut les reparer ſur les lieux; obſtacle qui à la vérité ſeroit peu de choſe, ſi le méchaniſme étoit plus propre à donner de la juſteſſe; mais nous avons ſuffiſamment prouvé le contraire.

CHAPITRE XXXI.

Des Expériences que j'ai faites pour vérifier les principes établis ſur les effets du chaud & du froid ſur les Montres : maniere de les corriger.

I. EXPÉRIENCE.

1904. J'AI pris une montre à cylindre qui bat 18720 vibrations & dont le balancier étoit petit : l'ayant portée dix heures dans mon gouſſet, elle a avancé d'une minute 40 ſecondes ; ainſi en 24 heures elle auroit avancé de 4 minutes. Je l'ai enſuite *pendue* au froid de 4 deg. au-deſſus de la glace ; en 8 heures elle a retardé de 3 min. $\frac{1}{2}$; ainſi en 24 heures elle auroit retardé de 10 min. $\frac{1}{2}$. Or elle auroit avancé en pareil temps de 4 minutes, étant dans mon gouſſet, c'eſt-à-dire, à la température de 27 deg. (*) ; la différence cauſée par le

(*) Pour vérifier la juſteſſe des montres ou leurs écarts par le chaud & le froid, je les porte dans mon gouſſet : or pour connoître la chaleur qu'elles éprouvent, j'ai

chaud & le froid, eſt donc de 14 min. $\frac{1}{2}$ en 24 heures; or comme le balancier décrivoit de fort grands arcs, qu'il eſt petit & que ſes pivots étoient fort gros, j'ai commencé par faire un balancier plus peſant, & tel que la montre étant reglée étoit prête d'arrêter au doigt; dans cet état je l'ai fait marcher au froid, & enſuite dans mon gouſſet; & au lieu de retarder de 14 min. $\frac{1}{2}$ en 24 heures, elle ne retardoit plus que de 3 min. dans le même temps: n'ayant pas été content de cette approximation, j'ai diminué les pivots du balancier pour en réduire le frottement; j'ai reglé de nouveau la montre. Voici ce que j'ai obſervé.

1905. L'ayant ſuſpendue par ſon cordon, elle a avancé de 11 ſecondes en 13 heures; miſe à plat pendant 13 heures, elle a avancé de 55 ſecondes; c'eſt donc 44 ſecondes dont elle avance de plus, lorſqu'elle eſt à plat (*); je l'ai fait marcher dans mon gouſſet pendant 9 heures, elle a retardé 35 ſecondes; elle auroit donc retardé de 93 ſecondes en 24 heures: étant expoſée au froid, elle a avancé de 26 ſecondes en 24 heures, c'eſt-à-dire, que la chaleur du gouſſet l'a fait retarder de 2 min. en 24 heures: tandis que la chaleur la faiſoit avancer, avant que j'y euſſe touché, de 14 min. $\frac{1}{2}$; la correction que j'ai faite a donc non-ſeulement détruit ſon premier effet, mais elle retarde par la chaleur, au lieu d'avancer comme auparavant.

1906. Enfin j'ai ôté un peu du balancier, & je l'ai tellement réglée, qu'elle n'avance pas de 20 ſecondes en 24 heures du chaud au froid.

1907. Il réſulte donc de cette expérience, 1°, qu'en augmentant le poids du balancier j'ai diminué l'étendue des arcs, & que la montre, au lieu de retarder de 14 min. $\frac{1}{2}$ en 24

fait un petit Thermometre de comparaiſon ſur les degrés de M. de Réaumur; je le place dans mon gouſſet pour en connoître la température ſelon les ſaiſons, & juger les écarts des montres.

(*) Je n'ai pas voulu corriger cet effet du plat au pendu, par cette raiſon, que lorſqu'une montre eſt portée, elle eſt plutôt à plat que pendue; or celle-ci retarde actuellement par le chaud; ainſi l'avance occaſionnée par la ſituation horizontale ſervira à corriger le retard produit par le retard du gouſſet, ce que j'ai confirmé par l'expérience; car cette montre ne fait pas 20 ſecondes d'écart en 24 heures, quoiqu'on l'expoſe au chaud ou au froid.

heures, ne retardoit plus que de 3 min. dans le même temps; 2°, qu'en diminuant les pivots j'ai diminué les frottements, & qu'au lieu de retarder de 3 min. par le froid, elle avançoit au contraire de 2 min. enfin ayant diminué le poids du balancier, ce qui augmente l'étendue des arcs, la montre n'avance ni ne retarde par le chaud & le froid. J'ai donc prouvé par l'expérience la vérité des principes que j'ai établis, & qui étoient ignorés ci-devant, & fort loin de tout ce qu'on a écrit ſur les montres.

II. EXPÉRIENCE.

1908. UNE montre à roue de rencontre fait par G. faiſoit des écarts conſidérables du froid au chaud; car étant réglée dans une température moyenne de 10 deg. lorſque je l'expoſois au froid de la glace elle retardoit de 5 min. en 8 heures, ce qui, ſelon mes principes, prouvoit, ou que le balancier étoit trop léger, ou la force motrice trop grande, ou les pivots des balanciers trop gros, ou bien enfin chacune de ces choſes y concouroit; mais pour ne pas compliquer les effets en rendant l'expérience douteuſe, j'ai fait premiérement affoiblir le grand reſſort; & comme la montre tiroit 27 min. ſans ſpiral, avant de diminuer le reſſort moteur; après l'avoir diminué, elle tiroit 24 min. par heure ſans ſpiral: j'ai de nouveau réglé la montre, & l'ai fait marcher dans mon gouſſet, dont la température moyenne eſt de 27 degrés au-deſſus de la glace; je l'ai enſuite fait marcher au froid de la glace, mais elle retardoit encore de près de 2 min. par le froid de plus que dans le gouſſet: ainſi ce que j'ai fait n'étoit pas encore ſuffiſant; mais comme la force motrice n'étoit pas trop grande, vu que la montre étoit prête d'arrêter au doigt; que d'ailleurs les pivots de balancier étoient trop gros, & que le balancier étant petit, étoit trop peſant du centre, ce qui tendoit à augmenter les frottements des pivots, ſans augmenter l'inertie du balancier, enſorte que cela tendoit à augmenter le retard par le froid; j'ai ôté de la matiere du

balancier vers le centre, ce qui a diminué ſon poids d'une ſeptieme partie; j'ai fait de nouveau tirer le balancier ſans ſpiral, & il faiſoit 24 min. par heures comme auparavant, ce qui prouve que l'inertie du balancier n'avoit pas changé; mais alors le ſpiral étoit trop fort en le laiſſant au même point où il étoit avant que de diminuer le centre du balancier, ce qui devoit naturellement arriver, puiſqu'il avoit à mouvoir une moindre maſſe, & que les frottements des pivots en étoient diminués : enfin j'ai nettoyé & remonté la montre, & l'ai réglée à la température de 5 deg. je l'ai enſuite portée dans mon gouſſet, elle a retardé d'une minute en 12 heures : ainſi, par cette correction, la montre qui avançoit d'abord par la chaleur, retarde maintenant par la même chaleur; la diminution des frottements a donc produit cet effet : ainſi, en diminuant inſenſiblement de la peſanteur du balancier, elle décriroit de plus grands arcs; & la montre ſeroit amenée au point de n'avancer ni de retarder par le chaud & le froid : cette expérience prouve donc auſſi la vérité des principes.

1909. Il eſt bon d'obſerver ici par rapport à une montre dont les pivots de balancier ſont gros & le balancier petit, qu'il arrivera que la montre nouvellement nettoyée pourra bien aller juſte; mais qu'à meſure que les huiles s'épaiſſiront, les frottements ſeront plus grands, & qu'elle ira par ce moyen en retardant, & juſques-là qu'elle variera encore du chaud au froid; car une telle machine qui n'eſt pas bien diſpoſée eſt dans une mutation continuelle.

1910. Lorſqu'une montre avance par la chaleur, le meilleur moyen de la corriger n'eſt pas toujours de diminuer la force motrice; car ſi les pivots de balancier ſont trop gros, & que le balancier ſoit trop léger, il ſeroit préférable d'en faire un autre plus peſant, & de diminuer les pivots; on augmenteroit par-là la quantité de mouvement; ainſi les changements des huiles ſeroient moins ſenſibles.

1911. La réſiſtance ou frottement des pivots de balancier change ſelon que les huiles ſont plus ou moins fraîches

& liquides ; car lorſque les huiles ſont fraîches, elles diminuent davantage le frottement des pivots ; ainſi le balancier va plus vîte, & au contraire ; c'eſt par cette raiſon qu'à meſure que les huiles s'épaiſſiſſent, la montre va en retardant ; cela confirme encore notre théorie. Il eſt donc bien eſſentiel de donner la plus grande puiſſance poſſible au balancier, pour vaincre les inégalités des frottements, de diminuer la groſſeur des pivots, &c ; de cette maniere les frottements reſteront aſſez conſtamment les mêmes ; & pour que le retard qu'occaſionne le froid ſur ces pivots, compenſe l'accélération que le même froid cauſe ſur le ſpiral, il faudra que le balancier décrive de plus grands arcs de ſupplément, c'eſt-à-dire, au-delà de ceux de levée ; d'où l'on voit que les arcs que doivent décrire les balanciers, varient ſelon le plus ou moins de frottements des pivots, &c ; ainſi plus les pivots & le balancier ſeront avantageuſement diſpoſés, & plus il ſera néceſſaire qu'il décrive de grands arcs ; & au contraire lorſqu'un petit balancier a de gros pivots, il faut qu'il ſoit d'autant plus prêt d'arrêter au doigt, c'eſt-à-dire, qu'il ne doit décrire que les arcs de levée.

1912. J'ai fait un très-grand nombre d'expériences qui ont toutes confirmé ma théorie : ainſi les mêmes principes ſont applicables aux montres à cylindre, à roue de rencontre, ou d'échappement quelconque connu, ce qui eſt très-indifférent.

1913. Une choſe aſſez ſinguliere que j'ai obſervée, c'eſt que ſi la force motrice d'une montre eſt trop grande, relativement à la force du balancier, la montre avancera poſée horizontalement, & retardera poſée perpendiculairement ; & ſi on diminue la force motrice juſqu'à ce qu'elle ſoit juſte de la quantité requiſe, la montre ne variera pas plus étant ſuſpendue.

1914. Il paroît donc que la cauſe qui fait varier la montre dans ces deux ſituations, ſavoir la différence des frottements, eſt la même que celle qui la fait varier du chaud au froid ; & que ſi une montre eſt bien compoſée, lorſqu'elle ſera miſe au point de ne pas varier par le chaud & le froid, elle ne

variera pas non plus, ſoit qu'elle ſoit poſée à plat, ſoit qu'elle reſte ſuſpendue.

1915. Mais s'il arrive qu'une montre aſſez bien réglée par les différentes températures varie dans ces deux ſituations, voici comment & ſur quels principes on corrigera ſes écarts. 1°, Pour faire enſorte qu'elle avance étant ſuſpendue, on arrêtera la montre, & on marquera le point le plus élevé du balancier, lorſqu'elle eſt pendue; on ôtera ce balancier & on diminuera tant ſoit peu du haut du balancier, c'eſt-à-dire, vers le point que l'on aura marqué; pour lors la montre avancera étant ſuſpendue, car la partie inférieure du balancier tend à redeſcendre avec plus de vîteſſe, après que la dent de la roue d'échappement, l'ayant remontée, la laiſſe redeſcendre: ce point eſt plus peſant, & participe à la propriété du pendule; mais il faut en ôter d'abord très-peu, & y aller petit à petit, juſqu'a ce que la montre ſoit réglée étant à plat, puis ſuſpendue; 2°, s'il arrive que l'on en ait trop ôté du haut, ou bien que la montre avance plus étant ſuſpendue qu'à plat, on en ôtera de la partie inférieure du balancier; au reſte cette opération eſt fort délicate & aſſez longue; &, comme je l'ai obſervé ce défaut ſe rencontre rarement à une montre bien diſpoſée.

1916. Nous rapporterons encore ici deux expériences qui ſervent à prouver le principe que nous avons établi ſur les réſiſtances des huiles, lorſque les forces de mouvement des balanciers ſont plus ou moins grandes.

I. EXPÉRIENCE.

1917. Une montre à roue de rencontre retardoit encore par le froid, malgré le rapport donné de la force motrice au balancier qui ne tiroit que 24 minutes; il étoit donc évident, ſelon mes principes, que la réſiſtance de l'huile par le froid détruiſoit une trop grande quantité de la force de mouvement du balancier, ce qui le faiſoit néceſſairement retarder: j'ai donc fait faire un reſſort beaucoup plus fort, & fait un balancier plus peſant qui tire 25 minutes; j'ai réglé la montre dans mon gouſſet, & l'ayant enſuite miſe au

froid d'un degré au-deſſous de la glace, elle a avancé d'une minute en 14 heures ; ainſi j'ai diminué la réſiſtance de l'huile en augmentant la force motrice; le principe établi eſt donc vrai, & démontré par l'expérience : or en diminuant un peu du poids du balancier, la montre n'avancera ni ne retardera par le chaud ni par le froid.

1918. Cette expérience prouve que lorſque les pivots de balancier ſont gros & le balancier petit, il faut qu'il ait une plus grande quantité de mouvement; & qu'ainſi lorſqu'une telle montre retarde par le froid, il faut augmenter la force du reſſort, & proportionnellement celle du balancier.

II. EXPÉRIENCE.

1919. UNE montre à cylindre avoit un balancier qui peſoit 4 grains $\frac{1}{2}$; il étoit beaucoup trop léger, eu égard à la force motrice qui étoit de 7 gros $\frac{1}{2}$ (511). Dans cet état, la montre étant réglée dans mon gouſſet, retardoit de 10 min. en 14 heures, étant à un degré au-deſſous de la glace ; j'ai donc fait diminuer le reſſort, enſorte qu'il ne tiroit que 5 gros $\frac{1}{4}$; alors la montre étoit prête d'arrêter au doigt ; je l'ai réglée dans le gouſſet, & l'ayant enſuite miſe au froid pendant 14 heures, elle retardoit encore de 5 minutes; ce qui prouve, ſelon le principe, que les réſiſtances des huiles étoient trop grandes relativement à la force du balancier. J'ai donc fait faire un reſſort qui tiroit 8 gros $\frac{1}{4}$, & un balancier qui peſoit 7 grains : j'ai réglé de nouveau la montre dans mon gouſſet, & l'ai expoſée enſuite pendant 14 heures au froid d'un degré au-deſſous de la glace ; elle a avancé de 2 minutes. L'expérience démontre donc encore ce que j'ai avancé : or pour que cette montre n'avance ni par le chaud ni par le froid, il ne faut que diminuer le poids du balancier.

REMARQUE.

1920. LORSQU'UNE montre eſt toute neuve & nouvellement montée, le balancier doit décrire de plus grands arcs, parce qu'alors les huiles étant plus fluides, les pivots & toutes

les pieces frottantes ayant tout leur poli, cela donne plus de liberté, le reſſort ayant d'ailleurs toute ſa force; il faut donc que dans ce cas la montre avance par la chaleur, ce qui déſigne que la force motrice eſt un peu trop puiſſante; mais dès que la montre aura pris ſon état conſtant, c'eſt-à-dire, que le reſſort ſe ſera rendu; que les pivots & les pieces auront perdu leur poli, les huiles leur fluidité, il arrivera que dans cet état, qui ſera enſuite aſſez conſtant, la montre n'avancera ni par la chaleur ni par le froid, ce qui ne ſeroit pas arrivé, ſi on l'eût d'abord miſe en état tel, que le froid ni le chaud n'y euſſent point influé.

Deſcription d'un Inſtrument propre à vérifier la juſteſſe des Montres.

1921. POUR vérifier la marche de mes montres ſelon leurs poſitions, inclinaiſons, ou le degré de température auquel on peut les expoſer, j'ai conſtruit la machine repréſentée (*Pl. XXIV, fig. 5*).

1922. *ABC* eſt un inſtrument connu des Horlogers, on l'appelle *la main*; elle ſert à porter les montres, pendant qu'on les remonte; on place pour cela la platine entre les trois griffes *ABC*, dont on en voit une repréſentée (*fig. 6*); ici la main ſert à fixer la montre ſur cette machine, pour la mettre dans toutes ſortes de poſitions.

1923. Cette main ſe meut à frottement ſur ſon centre *D*; le contour de la main eſt gradué en degrés du cercle, ainſi en faiſant tourner cette main, on place le midi de la montre en haut ou en bas, ou dans toutes ſortes de poſitions: *F* eſt un index qui marque l'inclinaiſon que l'on donne au midi; la piece *EB* qui porte la main, eſt mobile au centre du demi-cercle *IGH*, & peut tourner ſur ſon centre *G*, de maniere à placer la montre horizontalement ou verticalement, ou de toute autre inclinaiſon: l'aiguille *GK* marque ſur le demi-cercle, (gradué en degrés) l'inclinaiſon de la montre: voilà par rapport aux poſitions de la montre.

1924. Pour obſerver la température que la montre éprouve, j'ai placé un thermometre de mercure gradué ſelon les diviſions de M. de Réaumur: *L M* eſt la planche de cuivre qui porte les diviſions & le tube; *N O P Q* eſt une cloche de verre que j'entoure de glace pilée lorſque je veux produire le froid.

CHAPITRE XXXII.

De l'uſage des Échappements, leurs propriétés: de l'Iſochroniſme des vibrations du Balancier: comment on peut y parvenir.

1925. JUSQU'ICI j'ai traité du régulateur des montres, expliqué & établi les principes de juſteſſe de ces machines, ſans y faire mention des échappements, réduiſant ce méchaniſme au ſimple effet d'une ſorte d'engrenage qui entretient & donne le mouvement au balancier. Je ſuis donc fort éloigné de ſuivre ceux qui ont écrit avant moi, en attribuant à l'échappement des propriétés imaginaires, démenties par l'expérience & par le raiſonnement. Au reſte, comme je ne veux pas, ainſi que ces Meſſieurs, que l'on m'en croie ſur ma propre parole, j'ai commencé dans les Chapitres précédents à établir des principes vérifiés par l'expérience ſur le régulateur des montres: je vas travailler dans celui-ci à faire voir qu'aucun des échappements connus ne corrige les inégalités de la force motrice. Quant aux effets du chaud & du froid, les principes que j'ai établis, & les expériences que j'ai rapportées, ont ſuffiſamment prouvé que l'échappement n'entre pour rien dans les écarts que produiſent le chaud & le froid; ainſi, bien loin que je change quelque choſe à ce que j'avançai dans ma lettre à M. Camus, le raiſonnement & l'expérience n'ont ſervi qu'à me prouver que ce que je penſois en 1752 & 1754 ſur la juſ-

teſſe des montres, eſt fondé ſur les loix du mouvement, confirmé par le raiſonnement & l'expérience: on ne ſera donc pas ſurpris ſi je m'arrête à cet article; la théorie que j'ai établie, m'ayant paru aſſez neuve & aſſez intéreſſante pour mériter que je jouiſſe du ſeul but que je me ſuis propoſé, celui de m'inſtruire, & d'être utile: & quoique cette théorie ne paroiſſe pas auſſi brillante aux yeux du commun des hommes, que l'annonce merveilleuſe d'un échappement qui corrige tous les défauts des montres, il me ſuffit que les Savants en méchanique veuillent en faire quelqu'eſtime. Nous ne nous ſommes pas contenté de faire voir par le raiſonnement, qu'aucun échappement ſoit à repos ou à recul, ni enfin aucun des échappements dont on ſe ſert, ne corrige les inégalités de la force motrice (*Part. II. Chap. XVI & XVII*), & bien moins encore les écarts très-conſidérables produits par le chaud & le froid ſur le ſpiral & les huiles (1880 *& ſuiv.*). Et quoique nous ayons déja confirmé ces principes par les expériences rapportées dans le Chapitre précédent, nous traiterons encore ici des effets des échappements dans les montres.

PROPOSITION.

1926. LES oſcillations libres d'un balancier ſimple, abſtraction faite de la réſiſtance de l'air & des frottements des pivots, ne peuvent être iſochrones, c'eſt-à-dire, les grands ou petits arcs ne ſont pas exactement parcourus dans le même temps; il eſt bien vrai, que ſelon les expériences de s'Graveſande, les vibrations des reſſorts ſont iſochrones (1813); mais comme le ſpiral ne détermine qu'en partie la vîteſſe du balancier, laquelle eſt ſinguliérement réglée par l'inertie de ce balancier, il arrive que plus l'eſpace parcouru par le balancier ſera grand, & plus il y employera de temps; c'eſt ce que j'ai confirmé par les expériences faites avec le balancier de la *Pl. XVIII, fig.* 13.

1927. Mais quand même il arriveroit que les oſcillations du balancier libre qui ſe meut ſéparément d'un rouage, ſeroient iſochrones, cela ne prouveroit pas qu'elles le ſoient

encore, lorſqu'elles ſont entretenues en mouvement par un échappement à repos; car ſi on augmente la tenſion ou la force du moteur, les arcs de vibrations du balancier ſeront plus grands, puiſque l'impulſion de la roue d'échappement ſera plus grande: ainſi la partie de l'oſcillation qui ſe fait par la levée de l'échappement ſera plus grande & aura plus de vîteſſe qu'elle n'avoit avant l'augmentation de la force. Mais le balancier ayant conſumé toute la force reçue par l'impulſion de la roue, il ne reſtera, pour le ramener, que le ſpiral: or la preſſion de la roue d'échappement ſur le repos du cylindre, empêchera le balancier de revenir avec la même vîteſſe qui avoit été communiquée par la roue d'échappement. Ainſi il arrivera qu'une augmentation de force motrice fera retarder la montre; &, au contraire, en diminuant la force motrice, la montre avancera: ce raiſonnement eſt vérifié par autant d'expériences que j'ai vu de montres à cylindre, quelles que fuſſent les dimenſions de leurs balanciers, ſoit qu'ils fuſſent petits & à vibrations promptes, ſoit qu'ils fuſſent grands & peſants, à vibrations lentes; enſorte que je ne conçois pas comment des gens qui ont travaillé toute leur vie à faire de ces ſortes d'échappements, ont pu avancer un fait dont la fauſſeté eſt ſi aiſée à démontrer. D'autres perſonnes auſſi peu inſtruites, mais qui en ont été les échos, ont répété la même abſurdité; & c'eſt d'après ces propriétés merveilleuſes que l'on a travaillé à faire de nouveaux échappements, ſans avoir auparavant recherché quelles en ſont les véritables fonctions, leſquelles ne peuvent être (dans le méchaniſme connu) que d'entretenir le mouvement du balancier; enſorte qu'ils ont négligé la partie eſſentielle qui donne la régularité. Pour mieux confirmer mon principe, j'ai compoſé la machine (*Pl. XXIII, fig.* 1): voyez ſon uſage & les expériences que j'ai faites, Chapitre XVII, Art. 1646, *& ſuiv.*

1928. Si on augmente la force motrice d'une montre à roue de rencontre, cette montre avancera, quoique les arcs de vibrations ſoient plus grands; car l'action de la roue agiſſant continuellement ſur les palettes, elle fera aller le balan-

cier avec d'autant plus de vîteſſe, que la force d'impulſion ſera plus grande, de maniere que les oſcillations de ce balancier ſeront abſolument différentes de ce qu'elles auroient été, ſi elles ſe faiſoient librement ; & au contraire, ſi on diminue la force motrice, les arcs parcourus par le balancier ſeront plus petits ; mais comme ces oſcillations ſe feront plus librement, elles ſeront plus lentes : cela eſt confirmé par l'expérience. Il eſt fort aiſé de répéter les expériences que je viens de rapporter ; & on verra, que non-ſeulement les vibrations d'une montre à repos ſont ralenties par l'augmentation de force motrice, mais que, de plus, ſi on l'augmente à un certain point, la montre arrêtera.

1929. Il réſulte donc de ces expériences, qu'en augmentant la force motrice d'une montre à cylindre, quoique les arcs décrits par le balancier ſoient plus grands, ils ſont plus de temps à être parcourus ; & qu'au contraire, en augmentant la force motrice d'une montre à roue de rencontre, les arcs parcourus par le balancier, quoique plus grands, ſe font en un moindre temps ; ainſi de la même cauſe il en réſulte des effets contraires : il ſuit delà qu'on pourroit, abſolument parlant, parvenir à l'uniformité, en faiſant un échappement qui ne fût ni à repos, comme celui à cylindre, ni à recul, comme celui à roue de rencontre, mais qui ſeroit formé par une courbure ſur laquelle la roue d'échappement agiroit tellement, qu'à meſure que la force motrice augmenteroit, à meſure auſſi la courbure s'oppoſeroit aux trop grands mouvements du balancier, lequel en revenant ſur lui-même, ſeroit preſſé par l'appui de la dent, & par la tenſion du ſpiral qui agiroit dans ce cas avec toute la puiſſance ; cette courbure pourroit être telle, que les grandes & petites oſcillations ſeroient parcourues dans le même temps, quelle que fût la force motrice : or ſi cette courbure n'eſt pas facile à déterminer géométriquement, elle n'eſt pas fort aiſée à exécuter ; ainſi un tel échappement rencontre d'aſſez grandes difficultés, & d'autant plus que cela varieroit ſelon la nature des reſſorts ſpiraux, &c.

1930. Il eſt conſtant par les remarques ſur les échappements

ments à cylindre, que la partie de l'oſcillation qui ſe fait immédiatement après l'impulſion de la roue eſt plus prompte que l'autre partie qui n'eſt ramenée que par le ſpiral; ainſi lorſque la roue n'agira plus après l'impulſion ſur une partie circulaire, mais ſur une courbe ou plan incliné, alors la vîteſſe immédiate de l'oſcillation qui ſuit l'impulſion ſera moins grande, étant retardée par la courbure; & au contraire, l'autre partie de l'oſcillation ſera aidée par l'appui de la dent ſur la courbure. Au reſte, lorſqu'une montre ſera compoſée d'après les principes que j'ai établis, les inégalités de ſa force motrice cauſeront de très-petites variations, ſur-tout ſi cette force motrice eſt bien diſpoſée.

1931. Il eſt très-eſſentiel de tellement conſtruire les échappements de montres & de pendules, que les oſcillations ne ſoient pas dérangées par l'action de l'échappement & l'impulſion du rouage, mais qu'elles ſe faſſent, autant qu'il eſt poſſible, comme ſi le régulateur vibroit indépendamment du rouage. Pour parvenir à ce but, il ne faut pas faire des dents de roues d'échappements trop diſtantes entr'elles, mais au contraire les tenir auſſi petites que l'exécution le peut permettre, ce qui réduira la traînée.

1932. L'impulſion de la roue, lorſqu'elle reſtitue le mouvement du régulateur, change peu l'iſochroniſme; mais l'appui du repos ou l'inſtant du recul, ſi l'échappement eſt à recul, ſont les cauſes du dérangement des vibrations: l'appui du repos retarde les vibrations; & trop de recul les accélere (1646 & 1656): or plus le temps ſur le repos ſera long, & plus le dérangement de la vibration ſera grand. Si donc l'on a un échappement à repos qui ait peu de levée, & que la force motrice faſſe cependant décrire de grands arcs, le dérangement en ſera beaucoup plus grand: or nous avons vu qu'il eſt préférable de faire parcourir des grands arcs au balancier (1837); il faut donc augmenter pour cet effet la levée de l'échappement le plus qu'il eſt poſſible, puiſque, plus le temps de l'appui ſur le repos ſera grand, & plus auſſi ſera grand le dérangement de

la vibration : le même raiſonnement doit s'appliquer aux échappements à recul. S'il étoit poſſible de rendre iſochrones les oſcillations du balancier d'une montre, il faudroit compoſer l'échappement, de maniere que le recul accélérât la vibration, à meſure qu'elle devient plus étendue, en employant le même moyen dont je me ſuis ſervi pour les horloges à reſſort (1657) : or comme les balanciers doivent décrire des grands arcs, & qu'il n'eſt pas poſſible d'appliquer à l'échappement de Graham la courbure dont nous avons parlé, nous imaginons que ſi l'on vouloit faire une montre, la plus parfaite qu'il eſt poſſible, & propre à meſurer le temps ſur mer, on y parviendroit en faiſant un échappement pareil à celui déja cité ; mais à cela près que cet échappement ne ſeroit pas porté par l'axe même du balancier : l'axe de l'échappement porteroit un rateau denté, dont les dents engreneroient dans un pignon porté par l'axe du balancier : de cette maniere le balancier parcourroit de grands arcs, & l'échappement de fort petits. Les arcs de levée de l'échappement feroient parcourir des grands arcs au balancier, & les arcs de ſupplément du balancier ſeroient très-petits. En voici le méchaniſme.

(*PLANCHE XXIII, Figure 5*).

1933. *CD* eſt le balancier ; *A*, la roue d'échappement ; *B*, l'ancre d'échappement avec les plans inclinés pour rendre les oſcillations iſochrones ; *b*, eſt le rateau ; *a*, le pignon dont l'axe porte le balancier. Si le rayon du pignon eſt dix fois plus petit que celui du rateau, le balancier fera un tour, tandis que le rateau parcourra la dixieme partie de ſa circonférence, c'eſt-à-dire, qu'il décrira un arc de 36 degrés : ſi donc on veut que l'arc de levée de l'échappement faſſe parcourir 180 degrés au balancier, le rateau ne parcourra que 18 degrés pour l'arc de levée ; ainſi la roue fera parcourir à chaque côté de l'ancre un arc de 9 degrés pour l'arc de levée ; on fera donc les plans inclinés de l'ancre en conſéquence, afin de rendre les oſcilla-

tions iſochrones. Un tel échappement auroit la propriété d'avoir peu de frottement & un rouage ſimple, car la roue d'échappement pourroit être fort nombrée.

1934. Au reſte, il eſt bon de remarquer que cet échappement, malgré ſes avantages apparents, ne pourroit rendre les oſcillations iſochrones que dans les cas où les huiles conſerveroient leur même fluidité; mais les huiles varient à chaque inſtant, ce qui change néceſſairement les temps des vibrations du balancier; or l'échappement n'auroit que la propriété de corriger les inégalités de forces motrices, & non celles qui ſont cauſées par les huiles, &c, qui ſont très-conſidérables. Nous devons d'ailleurs obſerver que la force motrice d'une montre change aſſez peu, & que les écarts d'une montre ne viennent point du tout delà, mais des autres cauſes que nous avons expliquées ci-devant. Enfin, par rapport à l'échappement d'une montre, on pourroit diſpoſer celui à roue de rencontre, de maniere à rendre très-ſenſiblement ſes oſcillations iſochrones (malgré l'inégalité de la force motrice); cela dépend du plus ou moins d'engrenage de la roue avec les palettes.

CHAPITRE XXXIII.

Principes ſur les forces de mouvement des Balanciers.

1935. ON DÉMONTRE que les forces que les corps en mouvement emploient à vaincre des obſtacles, ſont en raiſon compoſée de leurs maſſes, & du quarré de leurs vîteſſes. *

1936. Or, comme la force produite dans un corps eſt

* On peut voir ce principe démontré dans l'excellent ouvrage de Phyſique de s'Graveſande & dans Muſſchembroek; les expériences que nous rapporterons ci-après ſervent auſſi à les confirmer.

égale à l'action qui la cauſe, il ſuit delà que la force qui a été employée à procurer un mouvement à un corps, eſt comme le produit de la maſſe de ce corps, par le quarré de la vîteſſe qu'il a acquiſe. Si donc on appelle m la petite maſſe, M la grande, v la petite vîteſſe, V la grande vîteſſe, f la Force produite par la petite vîteſſe & par la petite maſſe, F la force produite par la grande : on aura d'après ce principe $f : F :: v^2 m : V^2 M$, donc $f V^2 M = F v^2 m$.

COROLLAIRE I.

1937. SI dans l'équation précédente on fait $f = F$, elle deviendra par la réduction $V^2 M = v^2 m$: donc $V^2 : v^2 :: m : M$. C'eſt-à-dire, que ſi les forces de deux corps en mouvement ſont égales, leurs maſſes ſeront en raiſon inverſe des quarrés des vîteſſes ; & réciproquement toutes les fois que les maſſes ſeront en raiſon inverſe du quarré des vîteſſes, les forces des corps en mouvement ſeront égales.

COROLLAIRE II.

1938. SI $m = M$, on aura $f : F :: v^2 : V^2$; c'eſt-à-dire, que ſi les maſſes des deux corps ſont égales, les forces des corps ſeront entr'elles, comme le quarré de leurs vîteſſes.

COROLLAIRE III.

1939. SI $v = V$, on aura $f : F :: m : M$; lors donc que les vîteſſes des deux corps ſont égales, les forces des corps ſont entr'elles comme les maſſes.

1940. Or les actions ou puiſſances requiſes pour donner le mouvement à deux corps, ſont comme les forces de ces corps : on peut donc conſidérer ici ces puiſſances, au lieu des forces produites par les corps : ainſi les corollaires ſont également vrais à l'égard des puiſſances.

1941. En appliquant ces principes aux balanciers des

montres, on en conclura ce qui qui ſuit :

1942. I°, Si les maſſes de deux balanciers en mouvement ſont en raiſon inverſe des quarrés des vîteſſes, les forces des balanciers ſont égales (corollaire I); ou ſi les forces ſont égales, les maſſes ſont en raiſon inverſe du quarré des vîteſſes : par exemple, ſi la vîteſſe de *A* eſt 1, & celle de *B* 2, le quarré de la vîteſſe de *A* eſt 1, & celui de *B* eſt 4; ſi donc la maſſe du balancier *A* eſt 4, & celle de *B* 1, les forces des balanciers ſeront égales, &c : les actions requiſes pour en entretenir le mouvement ſeront entr'elles comme le produit des maſſes, par le quarré des vîteſſes.

1943. II. Si deux balanciers ont des maſſes égales, & ſont mus avec des vîteſſes inégales, leurs forces ſeront comme les quarrés de leurs vîteſſes : ainſi le balancier *A* ayant une vîteſſe 1, & le balancier *B* 5, la force du balancier *A* ſera à celle de *B*, comme 1 eſt à 25; mais l'action requiſe, pour donner le mouvement au balancier *A*, eſt à celle qu'il faut pour donner le mouvement au balancier *B*, comme la force de *A* eſt à celle de *B*; c'eſt-à-dire, que l'action requiſe pour entretenir le mouvement de *A*, eſt à celle de *B*, comme 1 eſt à 25.

1944. III. Si les vîteſſes des deux balanciers ſont égales, leurs forces ſeront entr'elles comme les maſſes; ainſi les actions requiſes, pour entretenir leurs mouvements, ſeront auſſi comme les maſſes.

1945. IV. En général, ſi les vîteſſes & les maſſes des deux balanciers ſont inégales, leurs forces ſeront comme le produit des maſſes par les quarrés des vîteſſes.

1946. Nous nous ſervirons de ces principes pour déterminer les peſanteurs des balanciers, leurs diametres ſelon le nombre des vibrations, la force requiſe pour leur faire parcourir les arcs quelconques, &c.

1947. Nous prouverons par les expériences que nous rapporterons ci-après, qu'ayant donné les maſſes des balan-

ciers d'après ces principes, les forces des corps en mouvement ſont en effet en raiſon compoſée des maſſes & des quarrés des vîteſſes. Connoiſſant donc la maſſe d'un balancier, ſa vîteſſe, la force qui le met en mouvement, on en déduira facilement toutes les conditions requiſes pour un autre balancier, lorſqu'il devra avoir une maſſe différente, plus ou moins de vîteſſe, plus ou moins de force pour ſe mouvoir, &c.

1948. Pour comparer les vîteſſes de deux balanciers, il faut multiplier le nombre de vibrations pendant un temps donné par le diametre de chaque balancier; les produits exprimeront les vîteſſes, en ſuppoſant qu'ils décrivent des arcs ſemblables; mais ſi cela n'eſt pas, il faudra faire un produit pour chaque balancier de ces trois choſes; 1°, du nombre de vibrations dans le même temps; 2°, du diametre ou du rayon du balancier; 3°, de l'arc parcouru par le balancier: nous en ferons voir l'application par des exemples dans le Chap. ſuiv.

CHAPITRE XXXIV.

De la maniere de calculer les peſanteurs que doivent avoir les Balanciers des Montres, relativement au moteur, à l'étendue de leurs arcs, diametres, nombres de vibrations, &c.

1949. JUSQU'ICI nous avons fait voir que la juſteſſe des montres dépendoit d'un certain rapport entre la force motrice & le régulateur; nous allons maintenant donner des méthodes propres à trouver quelle doit être la peſanteur du balancier d'une montre à cylindre, lorſque la force motrice, le diametre du balancier, & les arcs qu'il doit parcourir ſont donnés; ou ſi le balancier étant donné, on veut ſavoir la

quantité que doit avoir la force motrice pour être dans le rapport convenable avec le régulateur. La difficulté de proportionner la peſanteur du balancier eſt très-grande dans les montres à cylindre, car juſques ici on n'a approché du point requis que par le tâtonnement; de ſorte que des Ouvriers qui ont fait toute leur vie de ces ſortes de montres, faiſoient leurs balanciers à tout hazard; j'en ai même vu un, qui faiſant une montre dont le balancier étoit plus grand, avec des vibrations plus lentes, donnoit 4 fois trop de peſanteur au balancier, enſorte que pour que la montre marchât, il étoit obligé de diminuer inſenſiblement le balancier; d'autres fois il faiſoit un balancier trop léger; enfin j'ai vu ce même Ouvrier donner des prétendues regles d'un méchaniſme qu'il n'avoit pas conçu (l'échappement à cylindre). Comme la matiere que nous traitons eſt neuve, je m'y arrêterai de maniere à la faire concevoir, en établiſſant des principes qui ſont une ſuite des loix du mouvement; enfin nous obſervons, que juſqu'à préſent on a eu peu d'égard à ce poids; car on s'eſt imaginé que les inégalités de la force motrice étoient toujours corrigées par une propriété imaginaire de l'échappement à repos. Nous avons ſuffiſamment prouvé le contraire par le raiſonnement & par les expériences que nous avons faites & rapportées ci-devant.

1950. Il ſuit de ce qui précede, qu'il eſt très-eſſentiel de proportionner la force motrice au régulateur, & que cette force agiſſe uniformément ſur le rouage d'une montre. Ceux qui ont ſupprimé la fuſée dans les montres, ont été fort aveuglés par les propriétés imaginaires de leurs échappements, & fort peu inſtruits des propriétés de cette belle invention (la fuſée); car indépendamment de ce qu'elle eſt utile pour la juſteſſe de la montre, elle a une propriété eſſentielle; c'eſt que toute la force du reſſort eſt employée utilement, & qu'elle ſert à faire marcher la montre plus de temps qu'elle ne feroit, s'il n'y avoit qu'un ſimple reſſort ſans fuſée. Voyez n°. 451.

1951. Quant aux montres à roue de rencontre, nous ne nous y arrêterons pas; car il eſt aſſez facile de proportion-

ner le poids du balancier à la force motrice, quels que ſoient ſon diametre, les arcs qu'il parcourt, &c. Pour cet effet, on fait marcher la montre ſans ſpiral, de maniere qu'en une heure l'aiguille de minutes faſſe 25 à 27 minutes, ceſt-à-dire, que la montre retarde ſans ſpiral de 33 ou de 35 minutes : or cette quantité doit varier comme nous l'avons fait voir (1891), ſelon les frottements des pivots la grandeur des balanciers ; ainſi on ne peut pas dire qu'il faille faire tirer une montre 30, 27, 25 ou 23 ; cette quantité doit être différente à chaque montre, c'eſt à quoi on n'a jamais eu égard : les mêmes regles que nous allons établir ſont également applicables aux montres à roue de rencontre ; enſorte que l'on peut également déterminer par le calcul la peſanteur d'un balancier dont le moteur eſt donné.

1952. Pour parvenir exactement à proportionner le poids des balanciers des montres à cylindre à la force motrice, j'ai commencé par conſtruire un inſtrument, au moyen duquel je puis déterminer avec la plus grande préciſion, la force que le grand reſſort communique au rouage ; nous avons décrit cet inſtrument dans la premiere Partie, Chapitre XXVIII. En plaçant cet inſtrument ſur le quarré de la fuſée de la même maniere qu'un levier à égaliſer les fuſées, on eſtimera la force du reſſort par le degré de la branche où le poids s'arrête pour faire équilibre avec le reſſort, (voyez ſa deſcription) : c'eſt en comparant la force du moteur avec celui d'une montre donnée que nous déterminerons le poids des balanciers, &c.

1953. Pour trouver les dimenſions d'une montre que l'on veut compoſer, il faut ſe ſervir, pour terme de comparaiſon, d'une bonne montre diſpoſée le plus avantageuſement, & qui ſoit tellement exécutée que les frottements ſoient réduits à la moindre quantité ; enſorte que la force motrice ait la relation requiſe avec le régulateur, pour que la montre aille le plus juſte qu'il eſt poſſible. Cela étant, on meſurera le diametre du balancier, ſon poids ; on comptera le nombre de vibrations qu'il fait par heure, l'étendue de ſes vibrations ; on meſurera la force du grand reſſort au moyen de l'inſtrument dont j'ai donné

donné la deſcription, & enfin on comptera le temps que met la fuſée à faire une révolution.

1954. J'ai préféré de partir d'après une montre faite, pour déterminer les dimenſions d'une autre différemment compoſée, par deux raiſons : la premiere, c'eſt que le calcul en devient plus facile, & plus à la portée des ouvriers : 2°, c'eſt que les dimenſions en ſont plus exactes qu'on ne pourroit les trouver par le ſeul calcul ; car on ne connoît pas aſſez les effets des frottements, pour que la force motrice d'une montre étant donnée, ainſi que le diametre du balancier, on puiſſe déterminer exactement ſon poids, les arcs qu'il doit parcourir ; au lieu qu'en comparant avec une montre déja faite, toutes ces données y entrent, & les dimenſions que l'on trouve pour la choſe cherchée ſont plus préciſes.

PROBLEME I.

1955. LES dimenſions d'une montre *A* étant données ; trouver quelle doit être la peſanteur du balancier d'une montre *B*, de laquelle on connoît le diametre du balancier, le nombre de vibrations.

1956. On veut, je ſuppoſe, que l'étendue des arcs & la force motrice ſoient de même grandeur que ceux de la montre de comparaiſon *A*, & on demande qu'il y ait même rapport de la force motrice de la montre *B* avec ſon régulateur, qu'il y a entre la force motrice de la montre *A* & ſon régulateur. Voici les dimenſions de la montre donnée *A*, qui eſt à cylindre ainſi que l'autre, (le calcul que nous ferons ſe bornant par les raiſons que nous avons dites à ces ſortes de montres), le balancier de la montre *A* peſe 6 grains $\frac{1}{4}$; il a 8 lignes $\frac{1}{2}$ de diametre, fait 18000 vibrations par heure ; il parcourt 240 degrés ; la fuſée fait un tour en 5 heures ; le reſſort fait équilibre avec 5 gros $\frac{1}{4}$ de force appliquée à 4 pouces du centre de la fuſée.

1957. Le balancier de la montre *B*, dont on cherche les dimenſions, fait 7200 vibrations par heure. Il a 10 lignes $\frac{1}{2}$

de diametre ; la force motrice eſt de 5 gros $\frac{3}{4}$, c'eſt-à-dire, la même que celle de la montre de comparaiſon ; la roue de fuſée fait un tour en 5 heures : on demande quel ſera le poids du balancier *B*. Pour cet effet on trouvera la vîteſſe du balancier *A*, en multipliant le diametre 8 $\frac{1}{2}$ par 5 vibrations (*) par ſeconde, ce qui donnera 42 $\frac{1}{2}$, dont le quarré eſt 1806 $\frac{1}{4}$. On trouvera de même la vîteſſe du balancier *B*, en multipliant ſon diametre 10 $\frac{1}{3}$ par deux vibrations par ſeconde ; ce qui donne 20 $\frac{2}{3}$, dont le quarré eſt 427 : or ſelon ce qui a été dit (1937), ſi la force qui donne le mouvement à deux corps eſt égale, les quarrés des vîteſſes ſeront en raiſon inverſe des maſſes ; on aura donc la proportion : le quarré de la vîteſſe de *A* eſt au quarré de la vîteſſe de *B*, comme la maſſe du balancier *B* eſt à la maſſe du balancier *A* ; j'appelle *x* la maſſe de *B*. On a donc 1806 : 427 : : *x* : 6 grains $\frac{1}{4}$; donc en multipliant 1806 par 6 grains $\frac{1}{4}$, & diviſant par le terme moyen connu, on aura la valeur de *x*, c'eſt-à-dire, le poids du balancier *B* : on trouvera 26 grains $\frac{1855}{4327}$, ou environ 26 grains $\frac{1}{2}$.

1958. Si donc on fait une montre dont le balancier ayant 10 $\frac{4}{12}$ de diametre, batte 7200 vibrations par heure, peſe 26 grains $\frac{1}{2}$; que la force motrice faſſe équilibre avec 5 gros $\frac{3}{4}$, éloignés de 4 pouces du centre de la fuſée ; que la fuſée faſſe un tour en 5 heures ; ce balancier, dont la force ſera égale à celle du balancier de la montre donnée *A*, décrira des arcs de même étendue, & aura même relation avec ſa force motrice que celle du balancier *A* avec ſa force motrice.

PROBLEME II.

1959. TROUVER la force motrice d'une montre dont le poids du balancier, ſon diametre, & les arcs qu'il parcourt, le nombre de vibrations par heure, &c, ſont donnés.

(*) Je n'emploie pas 18000 vibrations du balancier *A* par heure, ni 7200 du balancier *B* dans le même temps ; par la raiſon fort ſimple, que cela fait de trop grands nombres : il vaut mieux employer 5 par ſeconde pour *A* & 2 pour *B* dans le même temps, ces nombres 5 & 2 étant en même rapport que 18000 & 7200.

REMARQUE.

1960. CE problême eſt applicable à une montre dont le reſſort venant à caſſer, on veut en ſubſtituer un qui ſoit convenable.

1961. Soit le balancier *B* dont le poids eſt de 20 grains, le diametre = 11 lignes,& qui fait deux vibrations par ſeconde, la roue de fuſée fait un tour en 5 heures ; on demande quel devra être le poids, qui placé à 4 pouces du centre de la fuſée, entretienne & faſſe décrire des arcs de 180 degrés au balancier : pour cet effet, on trouvera la force du balancier *B*, en multipliant ſa maſſe par le quarré de ſa vîteſſe. On trouvera de même la force du balancier de la montre de comparaiſon *A*, dont nous avons fait uſage dans le problême précédent; & ſelon le corollaire III, (1940), on fera cette proportion : la force requiſe pour entretenir le mouvement du balancier *B* eſt à la force requiſe pour entretenir le balancier *A*, comme la force du balancier *B* eſt à celle du balancier *A*. On trouvera, comme dans l'exemple précédent, les vîteſſes : pour cet effet, on fera entrer les arcs parcourus par les balanciers; ceux de la montre donnée *A* ſont 240, & ceux de la montre *B* 180, c'eſt-à-dire, qu'ils ſont dans le rapport de 24 à 18, ou de 4 à 3 ; on ſe ſervira de ce dernier rapport pour éviter les grands nombres. Pour trouver la vîteſſe du balancier *A*, on multipliera ſon diametre $8\frac{1}{2}$ par 4 arc parcouru; on aura 34, lequel multiplié par 5 (nombre des battements par ſeconde) donne 170 pour la vîteſſe de *A*, dont le quarré eſt 28900, qui étant multiplié par la maſſe 6 gros $\frac{1}{4}$ de ce balancier, donne 180625, pour exprimer la force du balancier *A*. Pour avoir celle de *B*, on trouvera premiérement ſa vîteſſe en multipliant le diametre 11 par l'arc parcouru 3, ce qui donne 33 qui multiplié par 2 (nombre de vibrations en une ſeconde) donne 66 qui eſt la vîteſſe du balancier *B*, dont le quarré eſt 4356, lequel étant multiplié par la maſſe 20 du balancier, donne le nombre 87120 qui exprime la force du balancier *B*. On aura

donc la proportion : la force exprimée par le poids 5 gros $\frac{1}{4}$, qui entretient le mouvement du balancier *A*, eſt à la force ou poids requis, pour entretenir celui du balancier *B*, comme la force du balancier *A* eſt à celle de *B* : j'appelle *x* le poids ou force motrice requiſe pour entretenir le balancier *B* ; on a donc 5 $\frac{1}{4}$ gros : *x* :: 180625 : 87120 ; donc en multipliant les extrêmes & diviſant le produit par le terme moyen connu, on aura la valeur de *x*, c'eſt-à-dire, la force motrice du balancier *B* ; on trouve 2 $\frac{139690}{180625}$, c'eſt-à-dire 2 gros & environ $\frac{7}{5}$, qui ſera la force requiſe pour entretenir le mouvement du balancier *B* ; c'eſt-à-dire, qu'en appliquant un reſſort qui ſoit tel qu'il faſſe équilibre avec 2 gros $\frac{7}{5}$ ſitués à 4 pouces du centre de la fuſée, le balancier parcourra 180 degrés, & la force motrice ſera dans le rapport demandé, & pareil à celui de la montre donnée.

REMARQUE.

1962. LORSQUE les montres que l'on aura à calculer, ne feront pas exactement un nombre juſte de vibrations par ſeconde, c'eſt-à-dire, lorſque ce ſera d'autres nombres que 3600, 7200, 14400, 18000 par heure, & que l'on aura, je ſuppoſe, 16128 vibrations par heure ; alors on diviſera ce nombre par le nombre de ſecondes, dont une heure eſt compoſée, c'eſt-à-dire, par 3600 ; de cette maniere on aura un quotient 4 $\frac{1728}{3600}$, dont la fraction étant réduite à ſes moindres termes ou aux plus petits termes poſſibles, les plus approchants de l'exactitude, ſera enſuite employée dans le calcul. Ainſi on réduira la fraction précédente à $\frac{12}{25}$, & on aura 4 $\frac{12}{25}$ pour le nombre de battements que fait par ſeconde le balancier propoſé ; on eût pu même, ſans erreur ſenſible, employer le nombre 4 $\frac{1}{2}$, très-approchant du précédent, & plus commode pour le calcul : il en eſt ainſi des autres ; ſans cela, s'il falloit employer les nombres de vibrations par heure, le calcul ſeroit beaucoup plus long.

Suite du Calcul des Balanciers.

1963. J'AVOIS pris d'abord pour terme de comparaiſon une montre à ſecondes ordinaire, dont les frottements étoient grands, & pouvoient être réduits à une moindre quantité.

1964. Partant des principes que j'ai établis, j'ai compoſé une montre qui y fût plus conforme : nous allons en donner les dimenſions, & rapporter les expériences que j'ai faites. Le plan de cette montre eſt vu (*Pl. XXVII, fig.* 1 *&* 2); cette montre fait 7200 vibrations par heure; le balancier en fait donc deux par ſeconde; le balancier peſe 19 grains $\frac{1}{4}$, l'arc de levée eſt de 45 degrés, la roue de fuſée fait un tour en 4 heures & demi.

1965. J'avois fait faire un reſſort qui faiſoit équilibre avec 3 gros $\frac{1}{2}$ ſitués à 4 pouces du centre de la fuſée ; mais le balancier décrivoit de trop grands arcs; enſorte que la montre avançoit par la chaleur : ſelon mes principes, j'ai fait affoiblir le reſſort, enſorte qu'il ne tirât que 3 gros (*); après avoir réglé la montre, le balancier décrivoit des arcs de 240 degrés. Dans cet état, la montre a été réglée, miſe à plat & ſuſpendue, & la chaleur du gouſſet, ni le porté n'en dérangent plus la juſteſſe; tandis qu'auparavant la chaleur la faiſoit beaucoup avancer; actuellement la chaleur la fait retarder d'une minute en 24 heures; en ôtant un peu du poids du balancier, je puis la régler, de ſorte qu'elle n'avance ni ne retarde plus par le chaud ni par le froid. On voit par cette expérience qu'une augmentation d'un demi-gros dans la force motrice, produit des écarts très-ſenſibles, & combien il eſt eſſentiel de proportionner la puiſſance motrice avec le régulateur.

1966. Nous pouvons donc partir d'après cette montre pour en compoſer d'autres, dont les balanciers plus grands ou plus petits faſſent des vibrations promptes ou lentes, &

(*) Cette petite diminution de force motrice a fait avancer la montre, ce qui prouve encore que l'échappement à cylindre ne corrige pas les inégalités de force motrice.

que le temps de la marche de la montre ſoit de 30 heures, de 8 jours, d'un mois ou d'un an, ainſi que nous allons le faire voir par les exemples ſuivants.

PROBLEME. III.

1967. TROUVER la peſanteur que doit avoir un balancier qui fait une vibration par ſeconde, & dont le diametre eſt de 11 lig. $\frac{5}{12}$, l'arc de levée de 45 deg. on veut que l'arc de vibration qu'il doit décrire, ſoit de 240 degrés; que la montre aille 8 jours ſans être remontée, le reſſort tire 8 gros (*) & la fuſée reſte 40 heures à faire un tour.

1968. J'appelle *A* le balancier de la montre de comparaiſon, & *B* celui de la montre à 8 jours: on calculera d'abord les nombres qui expriment la vîteſſe de chaque balancier; on aura; le balancier *A* a 10 lig. $\frac{1}{3}$ de diametre; il fait deux battements par ſeconde; on a donc la vîteſſe $20\frac{1}{3}$, dont le quarré eſt 427: le balancier *B* 11 lig. $\frac{5}{12}$; il fait une vibration par ſeconde; ſa vîteſſe eſt donc $11\frac{5}{12}$, dont le quarré eſt 130. Or d'après le principe (1945), on aura la proportion: le quarré de la vîteſſe du balancier *A* multiplié par ſa maſſe, eſt au quarré de la vîteſſe du balancier *B* multiplié par la maſſe que j'appelle x, comme la force motrice du balancier *A* eſt à celle du balancier *B*; mais pour comparer ces forces motrices, il faut les réduire à une révolution qui ſe faſſe dans le même temps; ainſi la force motrice de *A* étant de 3 gros pour la roue qui reſte 4 heures $\frac{1}{2}$ à faire une révolution, elle devroit être de 26 gros $\frac{2}{3}$, ſi elle reſtoit 40 heures à faire un tour; ce que l'on trouvera, en faiſant la proportion: Si une roue qui fait un tour en $4\frac{1}{2}$, agit avec 3 gros de force; avec combien devroit-elle agir, ſi elle reſtoit 40 heures à faire ſa révolution; ou $4\frac{1}{2} : 3 :: 40 : x :: = 26\frac{6}{9}$; c'eſt-à-dire, qu'elle devroit avoir une force de $26\frac{6}{9}$, agiſſant à 4 pouces du centre

(*) Lorſque je parle de la force d'un reſſort, il eſt toujours ſous-entendu qu'elle eſt meſurée par l'inſtrument que j'ai compoſé, cette force agiſſant, comme je l'ai dit, à 4 pouces du centre de la fuſée.

de la fuſée : nous aurons donc la proportion ſuivante $427 \times 19\frac{1}{2} : 130 \times x :: 26\frac{1}{3} : 8$; donc $427 \times 19\frac{1}{2} \times 8 = 130x \times 26\frac{1}{3}$, donc $66608 = 3466x$, donc $x = \frac{66608}{3466}$, & $x = 19$ grains ; on a donc la valeur de x, c'eſt-à-dire, 19 grains pour la maſſe du balancier *B*.

REMARQUE.

1969. IL eſt bon d'obſerver ici, que ſi l'on eût cherché la peſanteur du balancier *B*, en ſe ſervant de la montre *A* du premier problême pour terme de comparaiſon, on eût trouvé la valeur de x moindre qu'on ne l'a trouvée ci-deſſus, par deux raiſons : la premiere, c'eſt que le balancier étant plus petit, a plus de frottement, enſorte que ſon poids eſt moindre qu'il ne ſeroit ſans ces frottements ; la ſeconde, c'eſt qu'il pourroit fort bien arriver que ce petit balancier n'étoit pas auſſi bien proportionné à ſa force motrice, que le balancier à demi-ſeconde l'eſt avec la ſienne ; car en cherchant la peſanteur du balancier à 8 jours, en ſe ſervant de cette premiere montre de comparaiſon, le balancier ne ſeroit que de 17 grains un peu plus. Ce qui ſert à me confirmer dans ce ſentiment, c'eſt que lors que j'ai exécuté la montre à 8 jours ci-deſſus, je me ſuis ſervi d'une autre montre pour terme de comparaiſon, & j'ai trouvé que le balancier de la montre à 8 jours, devoit être de 17 grains ; & que l'ayant fait de ce poids, il s'eſt parfaitement trouvé relatif à ſa force motrice, décrivant alors des arcs de 240 degrés, & dans cet état la montre va fort bien & ne varie pas ſenſiblement du chaud au froid : il reſte donc qu'il eſt plus léger de 2 grains qu'il ne devroit l'être, en partant d'après le calcul de la montre à demi-ſeconde ; or cette quantité ne peut venir que de la différence des frottements, ce qui ſerviroit à prouver les principes que j'ai établis, que des vibrations plus lentes qui ont une moindre quantité de mouvement, cauſent des frottements qui détruiſent une plus grande quantité de mouvement ; tandis qu'en comparant avec une montre à petit balancier, qui a néceſſairement plus

de frottements, les réſultats ſont exactement ceux que confirme l'expérience. Ainſi il paroît que les frottements d'une montre à vibrations lentes, & dont le balancier eſt peſant, ne ſont pas moindres que ceux d'une montre qui a un petit balancier léger: au reſte, cette différence de 2 grains n'eſt pas conſidérable.

1970. Mais il eſt à propos de faire obſerver ces différences que l'expérience donne d'après le calcul, différences cauſées par le plus ou moins de frottements, ce qui varie ſelon que les balanciers ſont grands ou petits, font plus ou moins de vibrations; elles ſont encore dépendantes du plus ou moins de frottement des rouages; ainſi, lorſque l'on voudra déterminer exactement par le calcul les dimenſions d'une montre, il faudra la comparer à une qui n'en differe pas abſolument: c'eſt ainſi que pour avoir le poids du balancier d'une montre ordinaire, je me ſers pour terme de comparaiſon d'une autre montre à peu-près pareille; en comparant ainſi par gradation, ſans paſſer tout à coup d'une montre à 30 heures à celle d'un an, on trouve des réſultats très-juſtes & confirmés par l'expérience.

PROBLEME IV.

1971. Trouver la peſanteur du balancier d'une montre à un mois, qui fait une vibration par ſeconde, dont le diametre eſt de 10 lignes, & doit décrire des arcs ſemblables à la montre à 8 jours, ci-deſſus, laquelle nous ſervira de terme de comparaiſon.

1972. Nous ſuppoſons que le reſſort tire 10 gros, que la roue de fuſée fait un tour en 5 jours. J'appelle *A* la montre de comparaiſon qui va 8 jours, & *B* celle à un mois.

1973. Comme les balanciers font le même nombre de vibrations, & décrivent des arcs ſemblables, pour avoir les vîteſſes des balanciers, il ne ſera beſoin d'employer que les diametres. Celui de *A* eſt $11\frac{1}{11}$, dont le quarré eſt 130; celui de *B* eſt 10, dont le quarré eſt 100; réduiſant les forces motrices à une révolution de même durée, on aura pour force motrice de *A* 24 gros, c'eſt-à-dire, que ſi la fuſée de la montre à 8 jours

jours, faiſoit un tour en cinq jours ; il faudroit que la force du reſſort agît avec 24 gros : on a donc la proportion $130 \times 17 : 100 \times x :: 24 : 10$; donc $100 \times x \times 24 = 130 \times 17 \times 10$; donc $2400\,x = 22100$; donc $x = \frac{22100}{2400}$; $x = 9\frac{5}{24}$.

1974. Le balancier de la montre à un mois doit donc peſer 9 grains $\frac{5}{24}$; on trouvera par le même moyen les dimenſions d'une montre à un an ; mais comme celle à un mois n'eſt déja pas une trop bonne machine, celle à un an vaudra encore moins ; ainſi nous laiſſons ce calcul à ceux qui voudront s'en occuper.

PROBLEME V.

1975. UNE montre dont le balancier eſt petit, & fait un grand nombre de vibrations par heure, étant donnée, trouver le nombre des vibrations que devra faire un grand balancier, pour avoir la même vîteſſe à ſa circonférence, que celle que le balancier donné a à la ſienne.

1976. Soit *A* le balancier donné, dont le diametre eſt de lig. $8\frac{1}{2}$, décrit des arcs de 240 degrés, & fait 18000 vibrations par heure ; & ſoit *B*, le balancier qui a 14 lig. de diametre, dont on cherche les vibrations : ſi on ſuppoſe que les arcs parcourus par les balanciers doivent être ſemblables ; les vîteſſes étant égales, les nombres de vibrations ſeront en raiſon inverſe des diametres, on aura $18000 : x :: 14 : 8$. Donc $14 \times x = 18000 \times 8$; donc $14\,x = 144000$, & $x = \frac{144000}{14} = 10285\frac{5}{7}$.

1977. Le balancier *B* devra donc faire $10285\frac{5}{7}$ vibrations par heure, & décrire des arcs de 240 degr. pour avoir la même vîteſſe que le balancier *A* : or dans ce cas ſi le balancier *B* eſt de même poids que *A*, ſelon le N°. 1944, il aura la même force ; mais les frottements des pivots de *B*, ſeront à ceux de *A*, comme le diametre de *A* eſt à celui de *B*, ou comme 8 eſt à 14. Le balancier *B* éprouvera donc de moindres variations par les changements des frottements, puiſque ces frottements étant moindres, la puiſſance du balancier pour les vaincre, eſt la même que dans le balancier *A* ; il faudra auſſi une moindre force motrice pour entretenir en mouvement le balancier *B*, que pour *A*.

CHAPITRE XXXV.

De la Puiſſance motrice d'une Montre. Du Reſſort.

1978. NOUS avons vu par ce qui précéde, combien il eſt eſſentiel que la puiſſance motrice d'une montre ſoit conſtamment la même, puiſqu'une montre quelconque connue dont on diminue ou on augmente la force motrice, fait des variations très-conſidérables du chaud au froid, & de la ſituation à plat à celle où elle eſt ſuſpendue.

1979. On doit juger par-là comment doivent aller les montres qui n'ont pas de fuſée pour corriger les inégalités du reſſort: ces écarts ne doivent pas être moindres dans les montres à cylindre, dont le poids du balancier eſt donné au hazard. Nous avons eſſayé juſqu'ici de ne laiſſer échapper aucune des conſidérations qui peuvent rendre la juſteſſe des machines qui meſurent le temps, la plus grande poſſible: nous examinerons ici, en ſuivant le même plan, comment on peut rendre la force motrice conſtante, & quels ſont les effets du reſſort.

I. PROPOSITION.

1980. SI on ſuſpend un poids très-peſant à un fil d'acier infiniment petit; que dans cet état on l'expoſe à une chaleur un peu forte, le fil s'alongera d'une plus grande quantité qu'il n'auroit fait, s'il n'avoit pas été chargé du poids; puiſque la chaleur, en écartant les parties des matieres, affoiblit néceſſairement le fil, & que la grande peſanteur du p ids aide encore à les écarter: or, ſi on expoſe enſuite ce même fil à la température où il étoit expoſé avant que de le chauffer, l'action du froid ne ſera pas aſſez grande pour rapprocher les parties de matiere du fil; ces parties n'étant pas en aſſez grande quantité,

& le poids y mettant obſtacle, le fil reſtera plus long, & aura moins de force qu'il n'avoit avant cette épreuve.

1981. La même choſe arrivera, ſi au lieu d'un fil & d'un poids, on ſuppoſe un reſſort que l'on tende fortement & qu'on expoſe enſuite à la chaleur; la force qui tient le reſſort tendu, fera ſur le reſſort le même effet que produit le poids ſur le fil; c'eſt-à-dire, que l'extenſion du reſſort ſera plus grande lorſqu'il eſt tendu, qu'elle n'auroit été s'il ne l'eût pas été, & que le froid n'aura pas une action ſuffiſante pour rendre au reſſort la même force qu'il avoit auparavant.

1982. Un reſſort continuellement tendu perd donc de ſa force; & la cauſe de cette perte eſt due à l'extenſion que cauſe la chaleur; car ſi le reſſort reſtoit toujours à la même température, il ne perdroit rien de ſa qualité élaſtique.

1983. Si l'on redonne un degré de tenſion au reſſort, de ſorte qu'elle ſoit de la même quantité qu'avant l'épreuve précédente, le reſſort expoſé de la même maniere, perdra encore un degré de force; & ſi on continue à le tendre à meſure qu'il perd ſa force, il perdra à la longue une partie aſſez conſidérable de ſon élaſticité.

II. PROPOSITION.

1984. SI on ſuppoſe le même reſſort dans ſon premier état, mais qu'il ſoit chargé d'un poids attaché à l'une de ſes extrémités; ſi on donne au reſſort & au poids qu'il porte un mouvement de vibration, en ſorte que le reſſort & le poids qu'il porte aille & revienne continuellement ſur lui-même par de promptes vibrations; que dans cet état on faſſe ſouffrir au reſſort un degré de chaleur, pareil à celui de l'épreuve précédente, le reſſort ne s'alongera pas d'une plus grande quantité, que s'il ne portoit pas de poids; car la réaction continuelle du reſſort ſur lui-même, empêchera l'effet du poids; & ſi on expoſe enſuite ce reſſort au froid, l'action du froid rendra au reſſort la force que lui avoit fait perdre la chaleur.

1985. Il ſuit de la premiere propoſition, que ſi on fait une montre, dont le reſſort ſoit long-temps à ſe développer,

ce reſſort demeurera long-temps tendu, & éprouvera les mêmes effets que s'il n'avoit pas de mouvement ; ainſi il éprouvera dans la même ſituation divers changements de température qui diminueront ſa force.

1986. Il ſuit de la deuxieme propoſition, que le reſſort ſpiral d'une montre ne doit perdre de ſa force que celle du frottement des parties qui le compoſent ; & que ſi la chaleur l'alonge d'une certaine quantité, le froid le raccourcit & le remet toujours au même état, ſans que l'oppoſition du poids de balancier y mette obſtacle. Enfin il réſulte de ces deux propoſitions, que le reſſort d'une montre perdra d'autant moins de ſa force, qu'il ſera moins long-temps tendu, & que ſon mouvement approchera des vibrations du reſſort ſpiral, & que par conſéquent le reſſort d'une montre que l'on remonte tous les jours, perd infiniment moins de ſa force, que celui d'une montre à huit jours, à un mois, ou à un an, & qu'il en perdroit moins encore ſi on le remontoit plus ſouvent.

1987. Tous les reſſorts ne perdent pas également de leur force, quoiqu'ils éprouvent les mêmes degrés de tenſion : cette différence dépend de la nature de la matiere du reſſort, & du degré de dureté des parties qui la compoſent ; ainſi l'acier, dont les pores ſont fins & ſerrés lorſqu'il eſt bien trempé, perd une moindre quantité de ſa force ; il eſt vrai que plus les pores de l'acier ſont ſerrés, & qu'il eſt trempé dur, plus auſſi il eſt ſujet à caſſer par le froid, enſorte qu'il n'eſt pas aiſé de prendre un milieu entre ces deux extrémités, le trop de dureté, ou la trempe plus foible. La maniere de travailler les diverſes ſortes d'acier, de tremper les reſſorts, &c, eſt un objet qui regarde particulierement les ouvriers qui font les reſſorts ; ainſi je ne m'y arrêterai pas.

Remarque ſur les Reſſorts.

1988. La force d'un reſſort de montre ou de pendule étant donnée, il y a deux manieres de faire le reſſort ; l'une en faiſant les lames épaiſſes & étroites, l'autre en les faiſant minces & larges. Cette derniere maniere eſt préférable à bien

des égards ; car 1°, plus le reſſort eſt épais, plus il eſt ſujet à ſe caſſer ; 2, plus un reſſort eſt étroit, plus le frottement des bords du reſſort contre le fond du barrillet eſt grand, tandis qu'un reſſort qui eſt large ſe déploie ſur la même ligne. On pourroit peut-être objecter que les frottements des lames l'une ſur l'autre eſt plus grand, lorſque le reſſort eſt plus large. Mais ſi l'on fait attention que le développement des lames d'un reſſort bien conditionné ſe fait ſans qu'elles ſe touchent, on verra que cette objection porte à faux. D'ailleurs, quand même il arriveroit que ces lames ſe toucheroient, le frottement n'en ſeroit pas plus grand que dans un reſſort étroit, puiſque nous le ſuppoſons de même force, & que l'étendue de ſurface n'augmente pas le frottement, abſtraction faite des huiles coagulées. Un reſſort mince & large eſt donc le meilleur dont on puiſſe faire uſage.

1989. Quant à la différente épaiſſeur d'un reſſort priſe du bout extérieur au centre, nous imaginons que le reſſort doit être affoibli par le centre, & augmenter à meſure juſqu'au bout extérieur. Au reſte l'expérience en apprend plus à un habile faiſeur de reſſort, que tous les raiſonnements que l'on peut faire là deſſus : ils ont ſoin de les affoiblir, juſqu'à ce que le développement des lames ſe faſſe ſans ſe frotter.

1990. Nous ne nous arrêterons pas non plus ici à parler du rouage d'une montre ; cet objet a été traité à l'article des roues & des engrenages, Part. II. Chap. V. Nous pourrons d'ailleurs revenir à cet article par la ſuite. Paſſons maintenant à la deſcription des montres à ſecondes, & des expériences que j'ai faites ſur les montres à vibrations lentes, & qui ſervent à confirmer ma théorie ſur l'avantage des grands balanciers légers dont les vibrations ſont promptes.

CHAPITRE XXXVI.

Deſcription d'une Montre à ſecondes, à deux battements ou vibration.

1991. DANS les montres à ſecondes que l'on a faites juſqu'ici, on a placé l'aiguille des ſecondes entre celles des minutes & des heures, diſpoſition qui m'a toujours paru défectueuſe; car 1°, l'aiguille des ſecondes eſt ſouvent expoſée à toucher à l'une ou l'autre de ces aiguilles, à cauſe du ballotage de ſon canon; & d'ailleurs l'aiguille des ſecondes eſt cachée à chaque tour par celle des minutes: 2°, le canon qui porte l'aiguille des ſecondes, roule ſur la chauſſée des minutes, ce qui cauſe un frottement aſſez conſidérable, vu ſa groſſeur & la vîteſſe de ſon mouvement: 3°, dans les montres à cylindre ce canon porte une roue qui engrene dans le pignon de la roue d'échappement, de ſorte qu'il faut néceſſairement que l'engrenage ait du jeu pour qu'il n'arrête pas la montre; & pour peu qu'il en ait, l'aiguille des ſecondes ballote tellement, qu'il n'eſt pas poſſible de diſtinguer par l'aiguille les battements du balancier, choſe aſſez néceſſaire pour obſerver. C'eſt pour parer à ces difficultés que j'ai diſpoſé la montre, dont on voit le plan dans la (*Pl. XXVII, fig.* 1, 2, 3, 4 & 5).

1992. *A*, (*fig.* 2) eſt le barrillet; *B*, la fuſée; *C*, la grande roue moyenne; (dans les montres ordinaires à ſecondes ou autres, cette roue eſt placée au centre de la montre, pour que ſa tige prolongée porte l'aiguille des minutes): la roue de fuſée a 54 dents; elle engrene dans le pignon *b* qui porte la grande roue moyenne *C*; celle-ci engrene dans le pignon *c* qui a 8 dents; ce pignon engrene non-ſeulement dans la roue *C*, mais il paſſe à travers la platine, (*fig.* 1) de maniere qu'il engrene dans la roue *G*; le pivot de ce pignon roule dans le pont *L*; ce pignon porte la petite roue moyenne

D (*fig.* 2) de 60 dents ; la petite roue moyenne engrene dans le pignon *d*, ſur lequel eſt fixée la roue *E* de 48 dents ; cette roue engrene dans le pignon *e* qui a 12 ailes ; ce pignon porte la roue d'échappement *F* de 15 dents ; chacune de ſes révolutions fait donc faire 30 vibrations au balancier ; & comme celui-ci fait deux vibrations par ſeconde, la roue *F* reſte 15 ſecondes à faire un tour : or ſon pignon fait quatre tours pour un de la roue *E*, celle-ci reſte donc une minute à faire un tour ; c'eſt le pivot prolongé de cette roue *E* vue en perſpective (*fig.* 4), qui porte l'aiguille des ſecondes ; ce pivot paſſe à travers le pont *N*, qui ſe fixe au centre de la platine (*fig.* 1) ; il ſert à porter la roue des minutes *H* (*fig.* 1), vue en perſpective (*fig.* 3).

1993. La roue *H* s'ajuſte à frottement contre la roue *G* (*fig.* 3) au moyen de la clavette *Q* ; ainſi les deux roues tournent enſemble ou ſéparément : lorſqu'on remet les aiguilles à l'heure, elles ſont placées, comme on le voit (*fig.* 1). Le canon de la roue *H* porte l'aiguille des minutes ; cette roue *G* engrene dans la roue de renvoi *I*, dont le pignon conduit la roue de cadran *O* (*fig.* 5), celle-ci porte l'aiguille des heures : la roue *I* & ſon pont *M* ſont vus en perſpective, (*fig.* 4).

I. REMARQUE.

1994. J'ai réduit par cette diſpoſition de la montre, les frottements cauſés par l'addition des ſecondes, à la plus petite quantité, puiſque la roue des ſecondes eſt portée par le pivot de la roue *E* (*fig.* 4) ; j'ai auſſi retranché le jeu de l'aiguille des ſecondes, laquelle étant portée par une roue de l'intérieur du mouvement, ne peut avoir du ballotage, étant continuellement preſſée par le moteur. L'aiguille des ſecondes *P* vue (*fig.* 5), paſſe par deſſus toutes les aiguilles, & eſt par ce moyen plus apparente ; ſes battements ſon nets, & ſe font ſans jeu ni recul ; ils ſont très-précis, tombent exactement ſur les demi-diviſions du cadran ; cette montre eſt très-propre aux obſervations ; c'eſt la même dont nous avons rapporté les dimenſions (1964 *& ſuiv.*).

II. REMARQUE.

1995. LORSQUE les ſecondes ſont concentriques au cadran, au lieu de faire porter le pivot de la roue des ſecondes par la platine, il faut le faire rouler dans un bouchon mis à force à l'extrémité du pont *N*; de cette maniere le pivot ſera plus petit, ce qui diminuera ſon frottement, lequel eſt néceſſairement augmenté par le poids de l'aiguille des ſecondes.

CHAPITRE XXXVII.

Deſcription d'une Montre à ſecondes qui va huit jours ſans remonter, dont le Régulateur eſt formé par deux Balanciers qui font un battement à chaque ſeconde. Expériences ſur cette Montre & ſur les vibrations lentes, (Pl. XXVII, fig. 6, 7, 8, 9 & 10).

1996. LA même montre eſt diſpoſée pour être à ſimple balancier, lorſqu'on le juge à propos. La fig. 6 repréſente l'intérieur du mouvement; *A* eſt le barrillet; *B*, la fuſée; la roue *C* de fuſée engrene dans le pignon *c* de la grande roue moyenne *D*; celle-ci engrene dans le pignon *d* de la roue de longue tige *E*, dont le pivot prolongé porte l'aiguille des minutes; cette roue du centre engrene dans le pignon *e*, qui porte la petite roue moyenne *F*, laquelle engrene dans le pignon *f*, qui porte la roue d'échappement *G*; celle-ci a 30 dents; & comme elle fait faire 2 fois 30 vibrations au balancier à chaque tour qu'elle fait, elle reſte une minute à faire un tour; ſon axe prolongé porte l'aiguille des ſecondes, qui marque ſur un cerele excentrique peint ſur le cadran de la montre: cette roue d'échappement eſt vue en perſpective (*fig.* 8) avec les deux

balanciers ; elle ne fait échappement, comme on le voit, qu'avec le cylindre qui porte le balancier *B* ; l'échappement ne differe pas de celui à cylindre décrit (401 & ſuiv.) ; le mouvement du balancier *B* ſe communique à celui *A*, au moyen des petites roues *a* & *b* portées par les axes des balanciers.

1997. Les croiſées des balanciers ſont diſpoſées de maniere à faciliter l'étendue des arcs de vibrations qui peuvent être de près de 360 degrés.

1998. Le ſpiral eſt porté par le balancier *A*, comme on le voit fig. 7 : or l'échappement ſe faiſant ſur l'axe du balancier *B* ; le petit jeu que demande l'engrenage de communication devient nul à cauſe de la tenſion continue du ſpiral ; le rateau qui ſert à régler la montre, eſt conduit par l'aiguille de roſette *D*, comme dans les montres ordinaires ; le reſſort *C* eſt attaché à la détente qui ſert à arrêter les balanciers, lorſqu'on veut prendre l'heure bien exactement.

1999. La fig. 9 repréſente la montre, lorſqu'on a ôté les deux balanciers, & qu'on veut y ſubſtituer le balancier ſeul ; les pieces *g*, *h* tiennent lieu de couliſſerie, de roſette & d'aiguille ; *g* eſt un pont qui preſſe l'index *h* à frottement ſur la platine ; cet index porte deux chevilles, entre leſquelles paſſe le ſpiral : ainſi en tournant la piece *h* de *m* en *k*, on fait avancer la montre, & au contraire : les pieces *g h* (*Fig.* 10) ſont vues de profil.

2000. Nous avons donné (1474 & ſuiv.) les nombres des roues d'une montre à 8 jours, & nous avons auſſi calculé les dimenſions de cette montre (1967) ; nous ne nous y arrêterons donc pas : paſſons aux expériences que je me ſuis propoſées en conſtruiſant cette montre, & donnons-en les réſultats. Voici ce qui a donné lieu à la compoſition de la montre à ſecondes à deux balanciers. M. Romilly publia en 1755 une montre, dont le balancier fait une vibration à chaque ſeconde, (voyez Encyclopédie, article frottement) : en admirant cette nouveauté, je crus qu'une telle montre ſeroit expoſée à varier par les agitations du porté. Ce fut donc pour réunir la juſteſſe, à la ſatisfaction d'avoir une aiguille qui marquât les ſecondes comme nos hor-

loges à pendules, que je conſtruiſis cette montre à deux balanciers. On ſait, & il eſt facile de s'en convaincre par la ſeule inſpection des figures, que telle agitation que l'on faſſe éprouver à une montre à deux balanciers, ſes oſcillations n'en ſont pas troublées : j'exécutai donc cette montre ; & ſi ſon mouvement ne fut pas plus exact que celui d'une montre ordinaire, au moins eſt-il certain qu'il ne fut pas plus irrégulier, ſurtout lorſque j'eus donné le rapport convenable du régulateur à la force motrice, rapport qui eſt au moins auſſi eſſentiel dans une telle montre, que dans une autre. Dans la ſuite j'y adaptai un ſeul balancier dont le poids eſt égal à celui des deux autres ; il eſt de même diametre, porté par un cylindre qui fait échappement avec la roue *H*, & décrit les mêmes arcs que l'échappement des deux balanciers : mon but, en adaptant alternativement à la même montre un régulateur compoſé de deux balanciers & enſuite d'un ſeul, mon but, dis-je, étoit de pouvoir comparer les différents effets de ces deux diſpoſitions par toutes ſortes d'agitations, poſitions & températures, ce ce qui m'a ſervi à juger à laquelle des deux on devoit donner la préférence. Je ne rapporte ici que la plus eſſentielle de ces obſervations, celle qui eſt relative aux agitations du porté.

2001. Pour en venir à l'objet de cette expérience, après avoir bien reglé la montre (à vibrations lentes par un ſeul balancier) à repos, je la portai de diverſes manieres, en lui faiſant éprouver toutes ſortes de mouvements, &c. Elle alla conſtamment bien, ſans que j'aie apperçu que les agitations du porté lui ayent cauſé aucune variation : ainſi, quoiqu'il arrive effectivement, ſelon que je l'avois imaginé, que certains mouvements, chocs, &c, devoient tendre à accélérer la vîteſſe d'un balancier grand & peſant qui fait des vibrationns lentes, & qu'au contraire d'autres mouvements devoient rallentir ſes vibrations ; il arrive, dis-je, que la juſteſſe de la montre n'en eſt pas changée ; car ſi un tel mouvement que la montre reçoit augmente la vîteſſe du balancier, un autre mouvement tend à la faire retarder, enſorte que cela ſe compenſe, ce qui eſt véri-

fié par les expériences ſuivies que j'ai faites là-deſſus.

2002. Quant aux montres à deux balanciers, quoique celles que j'ai faites aillent bien; comme elles ne vont pas mieux que celles qui n'ont qu'un ſeul balancier, & que cependant la difficulté de les exécuter eſt infiniment plus grande; il eſt bon d'annoncer ici que c'eſt ſe forger des difficultés en pure perte, & qu'un tel méchaniſme eſt abſolument inutile.

2003. Il n'en eſt pas tout-à-fait de même des montres à vibrations lentes, c'eſt-à-dire, qui font un battement par ſeconde; ſi elles ne vont pas mieux du chaud au froid, que les montres ordinaires, ainſi que nous allons le faire voir, elles ont cela de ſatisfaiſant, d'être commodes pour obſerver. Il eſt d'ailleurs bon de remarquer que ces ſortes de montres exigent de très-grands ſoins pour être exécutées, & que ſi elles demandent une moindre force motrice, comme le balancier a peu de force, l'inégalité de la force motrice ou des frottements cauſera des écarts plus grands qu'aux montres ordinaires à vibrations promptes & balancier léger.

2004. Les montres à vibrations lentes ſont plus ſujettes au battement du balancier; c'eſt par cette raiſon qu'il eſt à propos de ne les employer qu'avec des échappemens à cylindre; la levée de cet échappement étant communément de 45 degrés, & l'arc de vibration de 180. Il peut cependant décrire encore 180 degrés: de cette maniere, ſi la montre reçoit une ſecouſſe, ſon effet ſe bornera à faire parcourir un plus grand arc au balancier, ſans changer ſenſiblement la durée de la vibration; au lieu que ſi on employoit les vibrations lentes, & un balancier peſant avec l'échappement à roue de rencontre, la moindre ſecouſſe cauſeroit des battements qui dérangeroient néceſſairement la juſteſſe de la montre.

2005. Enfin, ſi les montres à vibrations lentes ſont ſatisfaiſantes, je dois dire qu'elles ne ſont pas ſuſceptibles de la même juſteſſe que le ſeroit une montre qui, faite d'après les principes que j'ai établis, auroit un grand balancier léger, feroit des vibrations promptes, & auroit par ce moyen moins de frottement & plus de force de mouvement.

Expériences du 12 Janvier 1760.

2006. J'AI porté pendant 12 heures dans mon gouſſet la montre à ſecondes qui va 8 jours; elle étoit reglée: je l'ai enſuite fait marcher 12 heures au froid de la glace; alors elle a retardé d'une minute : cependant les arcs parcourus par le balancier ne ſont que de la grandeur requiſe; car ſi je les faiſois plus petits, la montre arrêteroit au doigt, ce qui prouve que les frottements ſont plus grands relativement dans cette montre, & que le froid agit avec plus d'effet. J'ai comparé & fait ſubir la même épreuve à la montre à demi-ſecondes : le froid l'a fait avancer d'une minute ; elle décrit cependant de plus grands arcs : ainſi en diminuant du poids du balancier, les effets du froid ſont nuls pendant le grand froid. Lorſque la montre à ſecondes à huit jours étoit expoſée au froid de deux degrés au-deſſous de la glace, elle retardoit de 3 minutes par nuit; & lorſque le froid a diminué, la montre a été réglée : je n'ai pas voulu toucher au ſpiral pendant le froid, afin de mieux juger de ces écarts.

2007. Je fis il y a un an une montre à 8 jours ſur les principes de celle que je viens de décrire; les ſecondes ſont d'un ſeul battement, c'eſt-à-dire, qu'elle fait 3600 vibrations par heure. Pour vérifier mes principes ſur les effets du chaud & du froid ſur les montres, & du rapport du régulateur à la force motrice, je fis le reſſort plus fort qu'il ne falloit, tellement que le balancier décrivoit de fort grands arcs, & que la montre varioit conſidérablement, c'eſt-à-dire, que le froid la faiſoit beaucoup retarder : je fis diminuer le reſſort, & réduiſis les arcs de vibrations à 180 degrés; alors elle étoit a peu près réglée du chaud au froid; elle retardoit encore par le froid, mais beaucoup moins. Lorſque la température fût revenue à 10 degrés au-deſſus de la glace, la montre avança de 2 minutes en 24 heures; j'ai toujours laiſſé l'aiguille du ſpiral au même point, ces changements ne ſont cauſés que par la différence de la fluidité de l'huile qui eſt aſſez mobile à 10 degrés au-deſſus de la

glace, & fort ſolide à la glace, & à 4 degrés au-deſſus. J'ai fait diminuer la force motrice de cette montre, enſorte que l'arc de vibration ne ſurpaſſoit que peu celui de levée ; dans cet état, étant portée 12 heures dans le gouſſet, & réglée à cette température, expoſée pendant 12 heures à la glace, elle a retardé d'une minute : or, on ne peut diminuer la force motrice ſans expoſer la montre à arrêter au doigt ; on ne pourroit donc corriger ces défauts qu'en faiſant des pivots de balancier beaucoup plus petits, le poids du balancier reſtant le même ; mais ces balanciers peſants ſeroient ſujets à faire caſſer les pivots par les moindres ſecouſſes.

CHAPITRE XXXVIII.

Recherches & expériences, concernant les Horloges aſtronomiques.

2008. LES détails dans leſquels je ſuis entré ci-devant ſur les verges de pendule, & les recherches que j'ai faites ont eu pour objet de parvenir à conſtruire une Horloge aſtronomique la plus parfaite qu'il m'a été poſſible. Tel étoit le but que je me propoſai lorſque je conſtruiſis l'Horloge aſtronomique décrite chap. XXIV, Part. II ; mais l'étude particuliere que j'ai faite depuis, les recherches & expériences dont j'ai rendu compte ci-devant, m'ayant conduit à des moyens de perfection que j'ignorois lorſque j'exécutai cette premiere Horloge, m'ont déterminé à mettre à exécution ceux que j'ai établis, afin de vérifier ces principes par l'expérience, & de les fixer d'une maniere ſolide & qui différe des ſiſtêmes ou ſimples ſpéculations ; car il ne ſuffit pas dans les machines de poſer une ſimple théorie, en ne faiſant point attention aux différents effets des corps & au dérangement qu'ils cauſent dans les principes ; il faut, au contraire, continuellement y faire entrer la phyſique & l'expé-

rience, ſeul moyen de les rendre ſolides : ces principes doivent être immuables comme ceux de la géométrie ; mais il faut les conſidérer ſous toutes leurs faces, en y faiſant entrer toutes les circonſtances néceſſaires. Telle eſt la marche que j'ai eſſayé de ſuivre dans l'Horloge aſtronomique du ſuccès de laquelle je vais rendre compte.

2009. Comme le pendule & la ſuſpenſion ſont la principale partie de cette machine, j'entrerai dans quelques-uns des détails qu'ils ont entraînés, & dans les expériences réitérées que j'ai été forcé de faire, pour parvenir le plus près du but qu'il m'a été poſſible.

2010. Le pendule eſt le même que j'ai décrit chapitre XXIII, (1761) : il eſt repréſenté (*Pl. XXIII, fig. 12*). Je rendrai compte des changements que j'y ai faits en l'exécutant ; & ſi on trouve que ces détails que j'abrege ſoient encore longs, on pourra juger combien les opérations mêmes doivent l'être, lorſqu'on a en vue l'extrême perfection.

2011. Le pendule étant exécuté & conſtruit à peu près tel que je l'ai décrit (1761), & qu'il eſt repréſenté (*Pl. XXIII, fig. 12*) ; pour en faire épreuve, je le mis tout monté avec ſa lentille dans 30 livres de glace pilée : lorſqu'il en eut pris la température, je le plaçai ſur le pyrometre ; la lentille portoit à ſon centre une piece coudée qui alloit appuyer ſur le rateau du pyrometre : je plaçai de même un thermometre dans la glace, afin qu'il éprouvât les mêmes changements que le pendule.

I. EXPÉRIENCE.

2012. Le pendule appliqué ſur le pyrometre.

Thermometre.		Aiguille du Pyr.	
	0		0
	15		0
	19		1 deg.
Mis l'Etuve	25		2
	32		6
	35		9
	40		15

2013. Le pendule ayant été mis à la glace, éprouvant enſuite 40 degrés de chaleur, il s'eſt raccourci de lig. o $\frac{11}{160}$, d'où l'on voit que la compenſation eſt trop forte, puiſqu'au lieu de s'alonger, il s'eſt accourci par la chaleur. Cette expérience confirme donc la bonté de celles que j'ai faites ſur les métaux; car j'avois fait la verge plus longue que ne le donnoit le calcul, (1767); ainſi l'excès d'alongement du cuivre ſur l'acier eſt trop grand, ce qui fait trop remonter la lentille. Je réduiſis donc les chaſſis & verges au rapport que j'avois trouvé par le calcul; je remis le pendule dans la glace, & enſuite ſur le pyrometre: voici ce que je remarquai.

II. EXPÉRIENCE.

2014. Th. à	o	Pyr.	o chaud.
	10		5

Mis l'Etuve & des Mottes.

Thermometre. à	21	Pyrometre.	5 chaud.
	25		5
	30		5
	40		5
	23		5 du froid.

Remarque ſur cette expérience.

2015. Un moment après que le pendule tiré de la glace a été placé ſur le pyrometre, la chaleur l'a fait alonger de lig. o $\frac{1}{160}$, & il eſt reſté conſtamment au même point, pendant que la chaleur de l'étuve échauffant la verge, faiſoit monter le thermometre; mais comme la lentille ayant une grande maſſe, exige plus de temps pour être pénétrée de la chaleur, il arrive qu'elle ſe dilate long-temps après les verges; ainſi les parties de la verge de compenſation qui ſont dans la lentille, ne ſe dilatent que lorſque la lentille eſt échauffée, & c'eſt alors que le pendule s'eſt accourci de lig. o $\frac{1}{160}$: or on ne peut

attribuer ce raccourciſſement du pendule qu'à la dilatation de la lentille, laquelle étant remplie de plomb, ſon centre ſe remonte plus, que la partie de la verge d'acier qui la porte ne s'eſt alongée, & dans le rapport de 193 à 74; (Voyez la Table des Dilatations), (1696): c'eſt donc à cette ſeule cauſe que l'on doit attribuer le petit écart du pendule. J'imaginai deux moyens de corriger cet écart: 1°, en ſuſpendant la lentille par ſon centre, comme on le voit (*Pl. XXVIII, fig. 1*); 2°, en remontant les verges intérieures du grand chaſſis du pendule, de ſorte que toutes les parties qui ſervent à la compenſation ſoient hors de la lentille, & par conſéquent expoſées dans l'inſtant à la même température: le pendule ainſi corrigé, je le mis dans 30 livres de glace, & enſuite ſur le pyrometre.

III. EXPÉRIENCE (*a*).

2016. Th. à	0	Pyr.	0 chaud.
	10		1
	12		1

Mis l'Etuve & des Mottes.

Th. à	14	Pyr.	1 chaud.
	18		1 ½
	21		2
	26		3
	31		3
	35		3
	36		3

2017. Voilà donc enfin mon pendule amené au point de perfection,

(*a*) Une choſe ſinguliere que j'ai obſervée en faiſant cette expérience, c'eſt qu'à meſure que la chaleur de l'étuve augmentoit un peu ſenſiblement, l'aiguille du pyrometre alloit & revenoit alternativement ſur elle-même en faiſant des vibrations d'un demi-degré, & reſtant cependant toujours dans le même degré; ce qui eſt produit par l'action de la chaleur ſur les verges d'acier & de cuivre: celles d'acier tendent à alonger le pendule, & celles de cuivre à le raccourcir: or la différence des pores de ces deux métaux les rend différemment pénétrables par le chaud & le froid, qui n'agit pas également dans le même inſtant ſur l'un & l'autre métal.

perfection que je lui ſouhaitai; il ne s'allonge que de lig. o $\frac{1}{160}$ en ſortant de la glace, & éprouvant 35 degrés de chaleur; & en ôtant l'étuve, il revient enſuite à ſa premiere longueur.

2018. Cette variation ſi petite eſt produite par un peu d'affaiſſement cauſé par la lentille; ainſi en la tenant un peu plus légere, les verges de compenſation plus fortes & d'un pouce plus longues, on diminuera encore cet écart, qui d'ailleurs eſt beaucoup plus petit qu'on n'auroit oſé l'eſpérer.

2019. Je ſuis parvenu à cette extrême préciſion par les moyens ſuivants : 1°, en ſupprimant le levier que l'on employoit ci-devant, & ajoutant en verges la longueur requiſe pour la compenſation; par-là j'ai diminué la preſſion de la lentille, puiſque chaque verge correſpondante ne ſupporte que la moitié de ſon poids : 2°, par le moyen du chaſſis & des verges correſpondantes, le poids de la lentille agit perpendiculairement ſur chaque verge de cuivre correſpondante, & la preſſion des verges ſur les chaſſis ne peut ni les écarter ni les faire fléchir : 3°, le poids de la lentille eſt proportionné à la ſolidité des verges, de maniere que celles-ci ne peuvent être affaiſſées par ſon poids : 4°, toutes les verges ſont de même groſſeur, & préſentent à l'air une égale ſurface, de ſorte que les changements de température ſe communiquent à toutes dans le même temps : 5°, toutes les parties de la verge qui ſervent à la compenſation ſont ſituées hors de la lentille, & ſont pénétrées dans le même temps par les changements qui arrivent dans l'air : 6°, la lentille étant ſuſpendue par ſon centre peut ſe dilater en tout ſens, ſans changer la longueur du pendule.

2020. Les dimenſions de ce pendule ſont dans le rapport donné par le calcul fait d'après mes expériences ſur les dilatations des métaux : or ce pendule ne s'étant alongé que de lig. o $\frac{1}{160}$ par l'épreuve non équivoque qu'il a ſubie; on voit que ces expériences ſont exactes, & que les rapports de dilatation trouvés ſont juſtes.

2021. On voit encore par les détails dans leſquels je viens d'entrer, que le pyrometre n'a pas ſeulement ſervi à faire des

expériences ſur les dilatations des différents métaux ; mais que ſon uſage le plus eſſentiel a ſervi à vérifier mes tentatives, afin de parvenir à compoſer un pendule dont les centres d'oſcillation & de ſuſpenſion ne changent pas de longueur : j'obſerverai de plus, qu'un tel pyrometre eſt l'unique moyen propre à juger du point de perfection où l'on eſt parvenu ; car on aura beau dire que l'on a conſtruit un pendule qui ne change pas de longueur, toute autre preuve que celle-ci eſt équivoque. On aura comparé, par exemple, une horloge aſtronomique pendant quelques jours avec le paſſage des étoiles ; elle pourra avoir été juſte, ſans que cela prouve rien pour la bonté de la machine ; car, 1°, comme l'air change du matin au ſoir, il peut très-bien arriver que l'horloge avance & retarde alternativement, & ſe compenſe au bout de 24 heures : 2°, la juſteſſe d'une horloge ne dépend pas uniquement de la longueur du pendule ; car elle dépend de plus de l'étendue conſtante des arcs, de la nature de l'échappement, des frottements, des huiles ; ainſi il peut très-bien arriver qu'une telle machine marche juſte pendant quelques jours, quoique le pendule change de longueur : 3°, une horloge pourroit avoir été éprouvée du froid au chaud, & n'avoir pas paru faire d'écarts, mais dans la ſuite en faire de conſidérables pendant le froid ; telle ſeroit celle dont la lentille ſeroit aſſez peſante pour affaiſſer la verge du pendule, la compenſation ſe feroit pendant que la verge eſt échauffée ; mais venant à ſe refroidir, elle ne pourroit plus remonter la lentille, enſorte que le pendule reſteroit plus long : on pourroit donc croire, après avoir examiné une telle horloge du froid au chaud ſeulement, que le pendule a compenſé les écarts, tandis qu'en continuant l'expérience en reprenant par le froid, l'horloge retarderoit : c'eſt ce qui ſeroit arrivé aux pendules de Rivaz, ſi on les eût ainſi examinées : (Voyez 1733 & 1734).

2022. Pour donc examiner cet objet avec ordre, & ne point attribuer à une horloge une juſteſſe qui pourroit n'être que la ſuite des défauts qui ſe compenſeroient, il eſt très-eſſentiel de vérifier le pendule ſéparément, & ainſi des autres parties de la machine : cet examen ainſi fait, c'eſt alors que

l'Aſtronome peut en vérifier ſa marche, & que ſi elle varie, on ſera forcé de recourir à de nouvelles cauſes qui n'avoient pas encore été apperçues.

De la ſuſpenſion du Pendule.

2023. Après être parvenus avec ſuccès à la compoſition d'un pendule qui corrige l'effet de la dilatation & contraction de la verge, j'ai cherché à ſuſpendre ce pendule, de maniere que ſes oſcillations ſe conſervaſſent le plus long-temps qu'il eſt poſſible. J'entrerai ici dans quelques détails de conſtruction que la ſuſpenſion de ce pendule exige; je ne les crois pas déplacés, puiſque la perfection de la ſuſpenſion eſt eſſentielle pour conſerver l'Iſochroniſme des vibrations; je vais donc rendre compte des corrections que j'ai faites.

2024. 1°, Le mouvement que fait le couteau ſur ſon appui, eſt le développement de la petite portion du cercle qui en termine l'angle: or ce développement fait mouvoir l'axe du pendule parallelement à lui-même; enſorte que ſi la gouttiere ſur laquelle ſe meut le couteau, eſt formée par la portion d'un petit cercle, il faudra, ou que le développement du couteau faſſe élever le pendule à chaque oſcillation, ou que ce roulement ſe faſſe comme un pivot qui tourne dans un trou: pour éviter ces défauts, il faut, ou que ce couteau ſe meuve ſur un plan, ou que la gouttiere ſoit formée par un grand cylindre qui ait au moins 6 lignes de diametre; ainſi la petite partie de cette rainure, ſur laquelle ſe meut le couteau, différera peu d'une ligne droite; par ce moyen on aura le même avantage qu'avec un plan, ſans avoir les difficultés qu'il entraîne.

2025. 2°. Ayant obſervé que quelques ſoins que l'on applique à l'exécution d'une ſuſpenſion, il eſt preſque impoſſible de faire que le couteau porte ſur plus de deux points, il arrive que chacun de ces points ſupportant la moitié de la peſanteur du pendule, ils s'affaiſſent & ſe briſent; pour parer à cette difficulté, voici ce que j'ai imaginé: au lieu de faire la gouttiere ſur le ſupport (*Pl. XXVIII, fig.* 4) j'ai fait une entaille dans

laquelle j'ai ajuſté deux pieces d'acier *a*, *b*, mobiles ſelon *a b*; (*fig.* 2) & formant deux petits leviers terminés en angle pour recevoir la gouttiere portée par la verge du pendule, enſorte que toute la peſanteur du pendule ſera portée par ces deux leviers; & comme ils ſont mobiles ſelon leurs longueurs, ils auront chacun au moins deux points qui ſupporteront la maſſe du pendule, c'eſt-à-dire que le poids de celui-ci ſera ſupporté par 4 points au lieu de 2, & que par conſéquent l'effet de l'affaiſſement de la ſuſpenſion ſera réduit à la moitié.

2026. 3°, J'ai formé la gouttiere ſur la traverſe (*fig.* 6) attachée à la fourchette *K*, qui porte le pendule; par ce moyen elle eſt renverſée, enſorte que la pouſſiere ne peut s'y arrêter.

2027. 4°. J'ai placé à travers la piece ou porte-gouttiere (*fig.* 1) une vis *Z*, qui ſert à élever le pendule pour l'éloigner des couteaux, enſorte qu'en le laiſſant redeſcendre doucement, la fourchette *K* ne peut toucher ni de côté ni d'autre au ſupport *I*: cette vis eſt encore utile pour écarter la gouttiere des couteaux, lorſqu'on veut tranſporter le pendule tout monté; alors on éleve le pendule au moyen de la vis *Z*; & pour contenir la lentille, il ne faut que l'arrêter entre deux morceaux de bois creuſés que l'on fixe à la boîte avec quatre fortes vis.

2028. 5°. J'ai fait ces pieces de ſuſpenſion les plus petites qu'il eſt poſſible, afin qu'elles ſe trempent mieux, ce qui doit être, puiſqu'ayant plus de ſurface & moins de ſolidité, elles ſeront plus facilement pénétrées, & par les ingrédients qui ſervent à la trempe, & par le froid de l'eau; outre que ces pieces étant petites, ſont de meilleur acier.

2029. Enfin, je finis ce qui regarde la ſuſpenſion, en faiſant obſerver qu'il eſt très-eſſentiel de la fixer très-ſolidement contre le mur avec la boîte, ſans quoi les oſcillations du pendule agiroient ſur la boîte, & celle-ci ne reſtituant pas au pendule le même mouvement, cela diminueroit les vibrations du pendule: paſſons maintenant à la deſcription de l'Horloge.

CHAPITRE XXXIX.

Deſcription de l'Horloge Aſtronomique.

(*PLANCHE XXVIII*, fig. 1).

2030. *A, B, C, D* eſt une planche très-forte, qui ſert à fixer très-ſolidement le pendule contre le mur; elle porte la cage de cuivre *E, F, G*, dont les pivots prolongés des vis *H* contiennent le ſupport *I*, qui porte le pendule; ce ſupport tourne ſur les vis *H*, pour laiſſer au pendule la liberté de prendre ſon aplomb.

2031. La fourchette *K* porte fixement la traverſe 2, 3, (*fig.* 6), ſur la longueur de laquelle eſt formée la gouttiere qui doit appuyer ſur les deux couteaux mobiles du ſupport *I*: ce ſupport eſt vu (*fig.* 2), portant les couteaux *a, b* vus en perſpective (*fig.* 3); il eſt encore vu (*fig.* 4), avec l'entaille dans laquelle ſe logent les couteaux (*fig* 3); 1, 2, 3, 4 ſont les vis qui arrêtent les couteaux ſur le ſupport, en leur laiſſant ſeulement un petit mouvement ſur le milieu de leur longueur, & tel que l'appui de la gouttiere les oblige à s'appliquer par leurs extrémités; c'eſt pour cet effet que le deſſous *c* des couteaux eſt arrondi, & qu'ils ne touchent au ſupport que par le milieu.

2032. La cinquieme figure repréſente la fourchette *K*, portant la traverſe ou gouttiere, vue ſéparément (*fig.* 6) avec la vis *Z* qui ſert à élever le pendule: pour cet effet, lorſqu'on fait tourner la vis *Z*, on fait deſcendre ſa pointe, laquelle va poſer ſur le fond du trou conique fait à la broche *A* (*fig.* 4); or cette broche eſt fixée après le ſupport: ainſi en tournant la vis, on fait monter ou deſcendre la fourchette *K*, & par conſéquent le pendule.

2033. La fourchette *K* (*fig.* 1) eſt fixée par une forte

cheville avec le chaſſis d'acier, *a b c d*; le bout *c d*, qui entre juſte dans la lentille, ſert uniquement à l'empêcher de vaciller; *e f* eſt une traverſe ſur laquelle poſent les verges correſpondantes de cuivre *g h*, *i l*; les bouts ſupérieurs de ces verges agiſſent ſur le levier mobile en *m* (*) entre deux plaques qui ſont fixées ſur le ſecond chaſſis d'acier *n o p q*; ſur le bout inférieur de ce chaſſis poſent les bouts des verges de cuivre correſpondantes *r s*, *t u*, dont les bouts ſupérieurs portent enfin le levier mobile en *x*, par une cheville qui traverſe ce levier & la verge d'acier *x y*; l'extrémité inférieure de cette verge paſſe à travers les mortaiſes faites au ſecond chaſſis & à la traverſe *e f* du premier; ce bout prolongé eſt taraudé, & paſſe à travers le trou *N* de la chape *M N*; un écrou taraudé qui entre ſur cette vis, retient la chape *M N* avec la verge *y x*; & comme cette chape vue de profil (*fig.* 7) embraſſe la lentille, & la retient par ſon centre au moyen de la vis *O*, on voit que la lentille eſt ſoutenue par la verge *y x*, & par conſéquent par le reſte du pendule, dont chaque verge en ſoutient une partie, & dont tout l'effort ſe réunit à la ſuſpenſion.

2034. Les leviers mobiles en *x* & en *m* ſervent à diviſer également la preſſion de la lentille ſur chaque verge de cuivre correſpondante *g h*, *i l*, & *r s*, *t u*; ces leviers tiennent donc lieu des talons des verges d'acier qu'on voit (*Pl. XXIII*, *fig.* 12).

2035. *A* (*fig.* 8) repréſente l'écrou qui ſoutient la lentille par le deſſous de la chape; *B* eſt un *contre-écrou* pour fixer invariablement la longueur du pendule; ils ſe logent l'un & l'autre dans l'épaiſſeur d'une entaille faite à la lentille, comme on le voit (*fig.* 1).

2036. (*Fig.* 9) eſt un petit cylindre ou index qui entre dans le trou du canon *P*. (*fig.* 1); il peut monter & deſcendre dans ce canon, afin que ſoit que l'on regle l'Horloge ſur les étoiles fixes ou avec le ſoleil, l'index approche également du

(*) On a vu (1766) l'uſage de ce levier; c'eſt de diviſer l'action de la lentille également ſur les verges correſpondantes; ainſi il ne faut pas confondre l'effet de ce levier avec celui de compenſation que j'ai ſupprimé.

limbe *Q*, pour marquer les degrés parcourus par le pendule : *O* eſt une vis qui ſert à fixer l'index avec le canon *P*.

2037. Les parties *R* & *S* de la cage *E*, *F*, *G*, ſervent à recevoir la cage du mouvement, laquelle s'arrête avec cette premiere cage, au moyen de deux vis qui paſſent à travers les trous 4, 5, & entrent dans les trous taraudés des piliers du mouvement : on peut par ce moyen ôter ce mouvement ſans déranger le pendule.

2038. *V*, *X*, *Y* ſont des *brides* qui ſervent à contenir les verges du pendule : ces brides ſont de cuivre plié, & elles ſont arrêtées par des vis à portée par un des bouts ; ces vis paſſent dans de petites entailles faites au chaſſis pour les retenir ; les autres bouts des brides portent de petites vis, dont la pointe entre de l'autre côté du chaſſis pour empêcher la bride de deſcendre & de gêner les verges, défaut qu'il eſt eſſentiel d'éviter ; car la compenſation ne pourroit ſe faire ſi ces verges ne pouvoient monter & deſcendre librement dans le grand chaſſis.

Deſcription du Mouvement, (Pl. XXIX).

2039. La fig. 1 repréſente le cadran de l'Horloge avec l'aiguille des ſecondes ; l'aiguille des minutes marque ſur un cercle gradué en 60 parties ; ce cercle eſt commun aux minutes & aux ſecondes. Les heures ſont marquées à travers l'ouverture faite au cadran ; elles ſont gravées ſur un cercle *D* (*fig.* 3) qui eſt porté par la roue de cadran *C*. J'ai diſpoſé le cadran de cette maniere pour qu'il fût plus net, & que l'on remarquât aiſément le mouvement de l'aiguille des ſecondes ; car les heures gravées ſur les cadrans les rendent ſi noirs, qu'on a peine à voir l'aiguille des ſecondes & des minutes, dont les Aſtronomes ont cependant le plus à faire.

2040. *I i* (*fig.* 5) eſt l'ancre d'échappement que j'ai tenu plus court, afin de diminuer la traînée du repos, & pour avoir de plus grands arcs de levée : c'eſt exactement l'oppoſé de ce qu'on a fait ci-devant, ſéduit par la ſimple théorie, & par l'exemple de M. Rivaz : Voyez les défauts que les petits arcs

& les lentilles peſantes entraînent, aux numéros 1624, 1733 & 1734. Les arcs de vibrations décrits par ce pendule, ſont de deux degrés.

2041. La fig. 2 repréſente le dehors de la platine des piliers, avec les roues de cadratures pareilles à celles décrites Part. I, Chap. III.

2042. *A B* eſt une détente fixée ſur la tige du pied de biche; la partie *B* de cette détente ſert à recouvrir le trou du remontoir, afin qu'on ne puiſſe remonter l'Horloge ſans avoir déplacé la détente, & par conſéquent ſans faire agir le pied de biche *H* (*fig. 5*) ſur la roue *c* du mouvement, pour entretenir les vibrations du pendule & du rouage pendant qu'on remonte le poids.

2043. *a, b, c, d, e* (*fig. 5*) ſont les roues du mouvement de l'Horloge; *a*, celle qui porte le poids moteur; *e*, la roue d'échappement, &c.

2044. *M N* (*fig. 4*) eſt le coq d'échappement de l'Horloge; *O, P*, la fourchette, dont le bout *P* porte la tige qui communique avec le pendule, & lui tranſmet la force du rouage; cette tige ſe meut avec une vis de rappel pour mettre la machine dans ſon échappement: j'ai décrit cette fourchette, (78).

2045. J'ai ajouté à cette Horloge la ſonnerie des ſecondes que j'imaginai pour joindre à l'Horloge aſtronomique décrite Part. II, Chap. XXIV: je l'ai faite graver de nouveau, parce qu'elle eſt ici diſpoſée plus avantageuſement.

Deſcription de la Sonnerie des Secondes.

2046. Cette ſonnerie eſt compoſée d'un rouage particulier, dont la premiere roue porte 60 chevilles qui ſervent à élever un petit marteau qui frappe très-exactement les ſecondes ou vibrations du pendule; pour cet effet, cette premiere roue eſt entraînée par un petit poids qui eſt ſeulement capable d'élever le marteau; l'intervalle des coups de marteau eſt réglé par un petit ancre porté par l'axe d'échappement de l'Horloge; cet

cet ancre fait échappement avec la ſeconde roue de ſonnerie ; & de maniere qu'à chaque battement du pendule, une cheville de la premiere roue de ſonnerie éleve & fait frapper un coup au marteau : voilà le précis des effets ; mais pour les rendre ſûrs & faire ſonner cette machine à volonté, il a fallu ajouter pluſieurs détentes, dont nous allons expliquer l'uſage.

2047. *A*, (*fig.* 5) eſt la roue de ſonnerie vue de profil (*fig.* 6) : cette roue eſt mobile ſur l'axe du cylindre ſur lequel s'enveloppent deux cordes en ſens oppoſés ; l'une *a* porte le petit poids qui fait mouvoir le rouage & le marteau ; & l'autre *b* eſt un cordon qui ſert à remonter le poids : cette roue *A* porte un encliquetage ſemblable à celui d'une roue de cheville de répétition ; cette roue a 90 dents ; elle engrene dans un pignon de 6, ſur l'axe duquel eſt rivée la roue B (*fig.* 5) ; celle-ci porte deux chevilles diamétralement oppoſées, & qui font échappement avec l'ancre *D* fixé ſur l'axe *i* de l'échappement de l'Horloge ; cet ancre *D* eſt formé par deux portions de cercle, l'une extérieure ſur laquelle eſt actuellement arrêtée la cheville, & l'autre intérieure ſur laquelle cette cheville, en s'échappant, ira poſer : cet effet ſuſpend à chaque vibration le mouvement de la roue *B*, & par conſéquent de la roue *A* & du marteau, ce qui regle l'intervalle entre les coups de marteau, qui ſe font par ce moyen exactement au même inſtant que les vibrations du pendule, & les battements de l'aiguille des ſecondes.

2048. La roue *A* porte, comme je l'ai dit, 60 chevilles : elles ſervent à élever le marteau *S*, par le moyen de la levée *F*, fixée ſur l'axe du marteau ; le bout le plus court *F* de cette levée, eſt la partie qui ſert à élever le marteau, & le bout *f* vient s'engager entre les chevilles à chaque fois que le marteau retombe : cet effet ſert à empêcher qu'en remontant le poids, le frottement de l'encliquetage ne puiſſe faire rétrograder la roue *A*, & que par conſéquent les chevilles de la roue *B* ne puiſſent ſe préſenter au bras de l'ancre *D*, lequel arcboutant contre ces chevilles, dérangeroit le mouvement du pendule.

2049. L'axe du cylindre ou premiere roue *A*, paſſe à travers la platine (*fig.* 4), & porte quarrément une petite palette

g, qui ſert en même-temps à régler le nombre de tours dont on peut remonter le poids, & à arrêter le rouage lorſque le poids eſt deſcendu, & de maniere que les chevilles de la roue *B* s'arrêteront toujours au même point dans une poſition éloignée du bras de l'ancre *D*, pour éviter que celui-ci ne puiſſe arcbouter contre les chevilles de la roue *B* : nous allons expliquer ces différents effets.

2050. Lorſqu'on tire le cordon pour remonter le poids, chaque tour qu'il fait faire au cylindre, la palette qu'il porte fait avancer une dent de la roue *C*, (*fig.* 4), & ainſi de ſuite, juſqu'à ce que la palette ne rencontrant plus de dents, s'arrête ſur la crconférence non dentée de la roue, & arrête l'effort de la main : voilà ce qui regle les tours dont on peut faire remonter le poids.

2051. Pour remonter le poids, il faut ſe ſervir de l'anneau ſuſpendu à la poulie *D*; mais en tirant cet anneau, l'action de la main agiſſant également ſur les deux bouts du cordon *b b*, dont l'un eſt enveloppé ſur le cylindre, & l'autre attaché à la détente *E*, cette détente deſcendra avant que l'autre partie de la corde ait fait rétrograder le cylindre, (parce qu'elle oppoſe moins de réſiſtance que le cylindre); & comme cette détente eſt fixée ſur l'axe de la détente *G*, mobile dans la cage, celle-ci deſcendra en même-temps : or la partie *G* porte une entaille qui vient arrêter une cheville placée derriere la roue *B*, enſorte que la roue reſte immobile; & que pendant qu'on remonte le poids, les chevilles d'échappement ne peuvent changer de place, & par conſéquent s'oppoſer au mouvement de l'ancre.

2052. Maintenant ſi on veut faire ſonner les ſecondes, on tirera le cordon *H* attaché à l'extrémité *F* du levier *E F*, mobile en *f*, ce qui dégagera la détente *G* qui arrêtoit la roue d'échappement *B*; ainſi le marteau frappera les ſecondes juſqu'à ce que la palette *g* ait fait tourner la roue *C*, de maniere que celle-ci préſente l'intervalle *d* à la détente *I*, laquelle entrant dans cet intervalle, fera monter le bout oppoſé *L*, qui viendra ſe préſenter pour arrêter une des chevilles d'échappe-

ment de la roue *B*, & par conſéquent la ſonnerie ; ainſi les chevilles d'échappement ſeront hors d'état de pouvoir nuire au mouvement du pendule en ſe préſentant à l'ancre.

2053. Il y a deux chevilles placées ſur le derriere de la roue *B*, afin que ſelon que l'une ou l'autre cheville d'échappement eſt arrêtée par la détente *L*, quand le poids eſt au bas, il y ait une cheville derriere la roue *B*, qui puiſſe être arrêtée par l'entaille de la détente *G*, laquelle s'abbaiſſe, comme nous avons dit, quand on remonte le poids.

2054. Lorſqu'on remonte le poids de ſonnerie, la palette *g* fait rétrograder la roue *C*, laquelle éloigne la détente *I* ; enſorte que la roue d'échappement pourroit tourner, ſi, comme nous l'avons dit, le premier effet de la main ſur l'anneau, n'étoit pas de faire deſcendre la détente *G*, & d'arrêter la roue *B*, avant que le cordon ait pu faire tourner le cylindre.

2055. Le jeu de la détente *E F* eſt réglé par deux chevilles fixées ſur la platine ; le bout *F* de cette détente appuie légérement ſur la platine, afin de produire un frottement qui arrête la détente aux points où on la conduit, en tirant le cordon *H*, ou l'anneau de la poulie *D*.

2056. Le reſſort *K*, ſert à faire appuyer la détente *I* contre la roue *C* ; *M*, eſt un reſſort à ſautoir qui contient la roue *C*.

2057. *Q*, eſt le poids ou moteur de la ſonnerie ; *R*, le timbre ſur lequel frappe le marteau *S*.

CHAPITRE XL.

De l'utilité de l'Horlogerie pour la Marine, & pour découvrir les Longitudes en Mer.

2058. J'AI traité ci-devant de l'Horlogerie, relativement à l'uſage civil & à l'Aſtronomie ; il me reſte un objet plus intéreſſant, c'eſt de l'appliquer à la navigation : mais avant d'en-

trer dans le détail des principes que j'ai établis ſur cette partie de la meſure du temps, il eſt à propos de parler de l'uſage des Horloges en mer, ſoit pour conſerver l'heure des obſervations, ou pour déterminer la longitude du lieu où l'on eſt. Pour cet effet, nous allons donner une notion des longitudes: je ne fais que tranſcrire l'explication que donne M. Bouguer des latitudes & longitudes, & leur utilité en mer, dans ſon Traité de Navigation, pag. 63 & ſuiv.

2059. Il eſt facile de concevoir, dit ce célebre Auteur, qu'un Obſervateur ne peut pas faire un pas ſur la ſurface de la terre (*), ſans qu'il apperçoive quelques différences dans l'apparence du ciel: c'eſt ce qui vient de la rondeur de la terre, & de ce que chacun de ſes points jouit, pour ainſi dire, d'un ciel différent. On nomme *Latitude* d'un lieu, ſa diſtance à l'équateur, ou la quantité dont il eſt avancé dans la partie du nord, ou dans la partie du ſud; cette diſtance ſe meſure ſur la ſurface du globe par le plus court chemin, & par conſéquent ſur le méridien qui paſſe par le lieu, & qui eſt toujours perpendiculaire à l'équateur: ſi le lieu eſt ſur l'équateur, il n'a point de latitude; & ſi au contraire on pouvoit aller juſqu'au pole, on auroit 90 degrés, & la plus grande de toutes les latitudes. Tous les lieux qui ſont ſur un même parallele, ont exactement la même, parce qu'ils ſont également éloignés de l'équateur: on diſtingue les latitudes en ſeptentionale & méridionale, ou en nord & ſud, ſelon que le lieu dont il s'agit eſt dans la partie du nord ou dans la partie du ſud, dans un hémiſphere ou dans l'autre.

2060. Nous avons des moyens pour déterminer notre

(*) La *Planche XXXIII* (*fig.* 10), repréſente le globe de la terre: on appelle *pole*, les deux points N & S, ſur leſquels elle paroît tourner comme ſur deux pivots; *N*, eſt le pole du nord; & *S*, celui du ſud; ils ſont éloignés l'un de l'autre de 180 degrés, ou de la moitié de la circonférence de la terre; l'endroit du plus grand mouvement de la terre ſe nomme *l'équateur*; il eſt repréſenté par le cercle *E*, *A*, *Q*; l'équateur eſt éloigné des poles de 90 degrés; il coupe la terre par la moitié, & la partage en deux demi-globes ou hémiſpheres; les cercles *G H*, *B C*, &c, qui ſont paralleles à l'équateur, s'appellent *paralleles*.

Les lignes *NES*, *NTS*, *NAS*, &c, ſont des demi-cercles qui s'étendent d'un pole à l'autre, & qui coupent l'équateur perpendiculairement: on les nomme *méridiens*, parce qu'ils indiquent tous les lieux de la terre, qui étant au nord ou au ſud les uns des autres, ont midi dans le même inſtant.

changement de latitude en mer, qui ſont d'une application tout-à-fait ſimple. Nous nommons *Zénith*, le point le plus haut du ciel, ou le point qui répond exactement ſur notre tête; & *Nadir*, le point qui eſt à l'oppoſite ſous nos pieds; mais pour peu que nous marchions, ces deux points changent de place, de même que notre horizon : ſi nous avançons vers le nord, notre horizon s'abaiſſe du même côté & s'éleve de l'autre : le point le plus haut du ciel ou notre zénith avance en même-temps vers les étoiles qui ſont voiſines du pole nord ou *Arctique*, & s'éloigne du ſoleil & des étoiles qui ſont proches de l'équateur : ſi nous faiſions tout le tour de la terre ou ſes 360 degrés, notre zénith parcourroit auſſi la circonférence du ciel, ou ſes 360 degrés. Ainſi nous pouvons juger en mer de notre progrès vers l'équateur ou vers le pole, ou de notre changement en latitude, par le changement de ſituations que reçoivent les aſtres à l'égard de notre zénith. Nous venons de dire que le ciel change d'apparence pour nous, auſſi-tôt que nous changeons de place; dans la *Pl. XXXIII* (*fig. 11*), le grand cercle *H Z O Q* repréſente le ciel, & le petit qui eſt au-dedans tient lieu de la terre : les deux poles du monde ou du ciel ſont marqués par les points *N* & *S*, qui ſont à l'oppoſite l'un de l'autre : la ligne *E Q*, repréſente l'équateur du ciel, & *B C* eſt l'équateur de la terre; la diſtance *A B* eſt donc la latitude de l'obſervateur *A*, & elle eſt égale en degrés à la diſtance du zénith *Z* à l'équateur du ciel; il y a exactement le même nombre de degrés de la terre depuis *A* juſqu'en *B*, que de degrés du ciel depuis *Z* juſqu'en *E*.

2061. La latitude eſt encore égale à la quantité dont le pole *N* eſt élevé au-deſſus de l'horizon. Si l'obſervateur *A* avance vers l'équateur de la terre, ſon zénith avancera du même nombre de degrés vers l'équateur du ciel, & s'y rendra exactement; ſuppoſé que l'obſervateur continue ſa route juſqu'à l'équateur, l'horizon *H O* changera de place en même-temps, & prendra la ſituation *S N*; cet horizon ſitué en *N S* ne ſera pas horizon pour nous, mais il le ſera pour l'obſervateur arrivé en *B*, & ſéparera exactement pour lui la partie ſupérieure du ciel de la partie inférieure.

2062. Il ſuit de-là que nous avons deux méthodes de déterminer la latitude d'un lieu, parce que nous pouvons obſerver dans le ciel deux quantités qui y ſont exactement égales en nombre de degrés; nous pouvons changer la diſtance de notre zénith à l'équateur céleſte, ou bien la quantité dont le pole eſt élevé au-deſſus de l'horizon.

De la Longitude des Lieux ſur le Globe Terreſtre.

2063. Pendant que l'obſervation de la latitude nous fait connoître la quantité dont nous ſommes avancés vers le nord ou vers le ſud, par rapport à l'équateur, la *longitude* détermine notre ſituation plus ou moins avancée vers l'orient ou vers l'occident. Chaque nation a ordinairement choiſi un méridien, qu'elle regarde comme le premier; elle y rapporte tous les autres: & on nomme *Longitude* la diſtance où l'on eſt de ce méridien, en meſurant cette diſtance ſur l'équateur ou ſur la circonférence de quelque parallele: nous avons fait paſſer notre premier méridien par l'Iſle-de-Fer, qui eſt la plus occidentale des Canaries; nous l'avons marqué par *N A S* dans la fig. 10; nous l'avons placé de même dans nos cartes: on trouve beaucoup de cartes françoiſes où le premier méridien paſſe par l'Obſervatoire Royal de Paris; cela eſt abſolument indifférent, pourvu que cette multitude de premiers méridiens ne faſſe tomber les Pilotes dans aucune équivoque.

2064. L'uſage varie encore ſur la maniere de compter la longitude; il faut toujours la compter d'occident vers l'orient, depuis o degré juſqu'à 360 degrés.

2065. On doit bien remarquer que lorſqu'on court exactement au nord ou au ſud, ou que lorſqu'on ſuit le même méridien, on conſerve préciſément la même longitude. La diſtance au premier méridien ſe meſure ſur l'équateur ou ſur les paralleles, & les degrés des paralleles ſont plus petits dans le même rapport, que les intervalles entre les mêmes méridiens ſont moindres, à meſure qu'on les conſidere dans des endroits plus voiſins du pole; il y a autant de degrés depuis *M* juſqu'en *R*, que depuis *L* juſqu'en *O*, ou que depuis *A* juſqu'au point mar-

qué par le nombre 15 ſur l'équateur ; ainſi tous les lieux qui ſont ſur le méridien, ou ſur la même ligne nord & ſud *N O R S*, ont exactement 15 degrés de longitude ; tous les points du méridien *N V S* en ont 75, &c.

2066. Il ſuit de-là, que lorſqu'on eſt fort avancé vers l'un ou l'autre pole, il ſuffit de faire très-peu de chemin pour changer conſidérablement de méridiens ou de longitudes, & pour qu'on ait une très-grande différence dans l'heure de midi. Quelque groſſeur qu'ait la terre, il doit y avoir des endroits, où en faiſant ſeulement une lieue vers l'orient ou vers l'occident, on change de 15 degrés de longitude, ce qui donne midi, une heure entiere, plutôt ou plutard. Pour qu'une lieue vaille 15 degrés, il faut que toute la circonférence du parallele ne ſoit que de 24 lieues, le diametre ne doit pas être tout-à-fait de 8 lieues, & il faut que la diſtance au pole ſoit un peu moindre que 4.

2067. Il n'eſt pas auſſi facile, lorſqu'on navigue en pleine mer, de déterminer la quantité dont on a avancé vers l'orient ou vers l'occident, ou le changement en longitude, que de découvrir le progrès vers le nord ou vers le ſud, ou le changement en latitude. On a des méthodes ſûres qu'on peut employer ſur un vaiſſeau pour déterminer exactement l'inſtant de midi, & aſſigner toutes les autres heures ; mais pour déterminer la longitude, il faudroit ſavoir en même-temps l'heure qu'il eſt dans le lieu dont on eſt parti, & on l'ignore ; l'agitation de la mer empêche qu'on puiſſe avoir dans le vaiſſeau aucune Horloge exacte, qui, réglée une fois, conſerve comme en dépôt l'heure qu'il eſt dans le lieu dont on s'éloigne. Suppoſons que nous partions du point *X* (*fig.* 10), & qu'ayant fait 30 degrés vers l'orient, nous arrivions en *P*, après pluſieurs ſemaines de navigation ; il eſt certain que ſi obſervant l'heure qu'il eſt dans le point *P*, nous trouvons qu'il eſt 5 heures du ſoir, il ne ſera que 3 heures dans le point *X*, parce que le ſoleil ſera moins avancé de deux heures, par rapport à ce ſecond point, que par rapport à l'autre. Mais pour qu'on ſût qu'il y a effectivement deux heures de différence entre les deux méridiens *N X S* & *N P S*, il faudroit avoir une Horloge aſſez bonne

pour qu'elle ne ſe fût pas dérangée pendant toute la route *XP*; & c'eſt à quoi l'Art de l'Horlogerie, quelque parfait qu'il ſoit, n'eſt pas encore parvenu. Il ne faut pas ſe flatter d'un meilleur ſuccès ſi la route eſt très-courte, parce que ſi le dérangement qu'on doit craindre de la part des Horloges eſt très-petit pendant deux ou trois jours, la différence des méridiens ſera auſſi alors très-petite, & l'erreur ſera toujours la même à proportion.

2068. Pour donner une notion étendue des moyens que l'on peut employer à la recherche des longitudes, je tranſcrirai encore un article ſur cette matiere, il eſt tiré des Mém. de l'Acad. R. des Sc. c'eſt l'extrait d'un petit écrit que M. Caſſini publia en 1722 : voyez l'Hiſtoire de l'Académie 1722, page 102.

2069. L'extrême importance des longitudes ſur mer (y eſt-il dit) a déterminé des Princes & des Etats, & en dernier lieu, M. le Duc d'Orléans, (Régent), de promettre de grandes récompenſes à qui les trouveroit ; feu M. Rouillé de Meſlay, ancien Conſeiller au Parlement de Paris a fondé un prix annuel, dont il a laiſſé le jugement à l'Académie, pour qui feroit en cette matiere quelques découvertes utiles. On n'a été que trop encouragé à cette recherche ; pluſieurs perſonnes, très-incapables d'y réuſſir, l'ont entrepriſe, & l'entreprennent encore tous les jours ; quelques-uns ne ſavent pas même ce qu'il faut chercher, & quel eſt l'état de la queſtion. C'eſt pour en inſtruire le public, pour en bien fixer les idées, & pour en donner même aux Mathématiciens, que M. Caſſini a fait ſur les longitudes en mer un écrit dont nous rapporterons ici le précis.

2070. Tout le monde ſait ce que c'eſt que l'eſtime des Pilotes ; la route du vaiſſeau étant, comme elle l'eſt, preſque toujours oblique au méridien du lieu, il ſe forme un triangle rectangle, dont la route eſt *l'hypothénuſe*, les deux autres côtés ſont le chemin fait dans le même temps en latitude & en longitude ; la latitude eſt connue par l'obſervation de la hauteur de quelqu'aſtre ; on a par la bouſſole l'angle de la route ; avec un côté du triangle, on a la route, en eſtimant quelle eſt en un certain temps donné la vîteſſe du vaiſſeau ; & de-là ſe tire très-aiſément la quantité de la longitude, 2070.

2071. La plus grande difficulté eſt l'eſtime de la vîteſſe du vaiſſeau ; pour la rendre plus ſûre, on jette le *loch*, piece de bois attachée à une ficelle que l'on devide à meſure que le vaiſſeau s'éloigne du loch ; car la mer n'ayant point de mouvement vers aucun endroit, le loch y demeure flottant & immobile, & devient un point fixe, par rapport auquel le vaiſſeau a plus ou moins de vîteſſe ; mais cette ſuppoſition ceſſe abſolument d'avoir lieu, ſi l'on eſt dans un courant, ce qui n'eſt point du tout rare ; alors le loch n'eſt plus immobile, il eſt emporté avec le vaiſſeau : ſi on s'en appercevoit, on ſauroit du moins qu'on eſt dans un courant ; mais le vaiſſeau, à cauſe de ſa grande maſſe, & que le vent a plus de priſe ſur lui, eſt emporté plus vîte que le loch, & l'on prend pour vîteſſe abſolue du vaiſſeau ce qui n'eſt que ſon excès de vîteſſe ſur le loch ; erreur très-dangereuſe : on conclut une fauſſe poſition du vaiſſeau ; & ſelon la remarque de M. Caſſini, il vaut mieux ignorer abſolument où l'on eſt, & ſavoir qu'on l'ignore, que de ſe croire avec confiance où l'on n'eſt pas.

2072. Quand même on auroit ſûrement les longitudes en mer par obſervation, le ciel eſt ſouvent couvert, & quelquefois pluſieurs jours de ſuite : les pratiques communes de l'eſtime du loch ſeront toujours néceſſaires ; mais à quelque degré de perfection qu'on les pût porter, ſoit par une plus grande adreſſe d'exécution, ſoit par quelque addition qu'on y feroit, ce ne ſeroit jamais que des tâtonnements, & non des méthodes ſcientifiques & ſûres : or on demande, quand on propoſe le problême des longitudes en mer, & l'on entend qu'elles ſoient auſſi ſûres que les latitudes ; ou, pour parler plus préciſément, on veut que les ambiguités ou erreurs ne ſoient pas plus grandes que celles de la latitude, par rapport à la détermination du lieu où eſt le vaiſſeau.

2073. M. Caſſini prétend que la déclinaiſon de la lune priſe dans ſon temps le plus favorable, ne peut pas donner aſſez exactement la longitude : il en rejette la faute ſur le manque de tables qui déterminent ces inégalités avec préciſion.

2074. Ce qu'il y auroit de mieux en mer pour avoir les

longitudes par obſervation céleſte, ce ſeroit les ſatellites de Jupiter; toute la difficulté eſt qu'il faut ordinairement, pour les appercevoir, des lunettes de 15 à 16 pieds, & qu'on n'en peut gueres manier ſur mer de plus longues que de 5 pieds; car il faut qu'elles ſoient droites & ſans ſe courber, toujours dirigées à l'aſtre, immobiles, au mouvement près qui eſt néceſſaire pour ſuivre l'objet: or on voit combien cela eſt difficile à de longues lunettes ſur un vaiſſeau agité.

2075. Cependant M. Caſſini ne croit pas impoſſible qu'on ne vienne à s'en ſervir aſſez commodément: on peut ménager à l'Obſervateur une eſpéce de ſuſpenſion (*), telle qu'il ſe ſentira peu de l'agitation du navire; alors la lunette ſera appuyée & arrêtée comme ſur la terre: on peut pour cet effet employer de petites lunettes; on peut les pouſſer à tel degré de perfection, qu'elles en vaudront de grandes. M. Caſſini a fort bien obſervé ſur terre, avec une lunette de 3 pieds $\frac{1}{2}$;

(*) Voilà la premiere idée de la *Chaiſe marine* imaginée par le ſieur Irwin: nous tranſcrirons ici la deſcription que l'on a donnée de cette Chaiſe, dans le Journal étranger du mois de Mars 1760. « Au-deſſous du tillac, & auſſi près du centre de » gravité du vaiſſeau qu'il eſt poſſible, ſont » fortement attachées l'une au-deſſus de l'autre, deux portions de ſphere creuſes dont » les plans de ſection ſont paralleles à l'horizon: ces portions renferment & preſſent » entr'elles une boule de cuivre, de façon » qu'elle peut tourner en tout ſens, & » qu'elle n'a cependant aucun jeu; ainſi l'aſ» juſtement de cette boule & de ces portions de ſphere, reſſemble aſſez aux genoux que l'on fait à certains inſtruments » de Mathématiques, pour pouvoir leur » donner la ſituation ou l'inclinaiſon qu'on » veut: ces deux portions de ſphere ſont » percées, l'une par ſa partie ſupérieure, » l'autre par ſa partie inférieure, d'une ouverture aſſez grande, pour laiſſer paſſer » & mouvoir une forte barre de fer qui » traverſe la boule de part en part, & fait » corps avec elle; il faut ſe repréſenter cette » barre s'élevant du côté ſupérieur juſqu'à » la hauteur du tillac, pour porter perpendiculairement un petit plancher aſſez ſolide, & aſſez grand pour contenir la chaiſe » de l'Obſervateur, & le pied ſur lequel ſe » doit poſer un téleſcope à réflexion, qui » ſert à obſerver les ſatellites de Jupiter, » &c. Le tillac eſt coupé en cet endroit, pour » que le plancher ne puiſſe pas le rencontrer dans ſes différents mouvements: du côté inférieur, cette barre eſt prolongée à » une aſſez grande diſtance de la boule, afin » que le poids dont elle eſt chargée agiſſe » par un levier d'une longueur ſuffiſante, » pour vaincre la réſiſtance de la boule entre » les deux portions de ſphere, & pour contenir & ramener le tout dans la verticale; » car par-là le plancher placé perpendiculairement ſur la barre, conſervera toujours » ſon niveau. Pour que l'Obſervateur tienne plus facilement & plus conſtamment » ſon œil appliqué au téleſcope, & que leurs » divers mouvements ſe faſſent enſemble, » le téleſcope eſt appuyé par une de ſes extrémités ſur ſon épaule, au moyen d'une » partie qui eſt ajuſtée à la monture, & l'autre ſur le pied dont nous avons parlé; enfin, la partie de cet inſtrument qui eſt » tournée du côté de l'Obſervateur eſt large, concave, & garnie de velours, afin » qu'il puiſſe l'appliquer contre ſon viſage, » & le tenir ferme contre ſon œil ».

une éclipſe du troiſieme ſatellite : il eſt vrai qu'il eſt le plus gros de tous, & qu'alors il étoit aſſez éloigné de Jupiter, pour n'être pas affoibli par ſa lumiere. Mais enfin, puiſque ce ſatellite a été vu avec une lunette de 3 pieds $\frac{1}{2}$, quoique dans des circonſtances favorables, cela doit donner aſſez d'eſpérance ; tout dépend de l'art de perfectionner les lunettes, & il n'eſt pas encore épuiſé.

2076. Sans avoir recours aux obſervations céleſtes, ſi l'on pouvoit avoir en mer une Horloge qui marquât l'heure du lieu du départ, comme de Breſt, la comparaiſon de cette heure à celle du lieu du vaiſſeau donneroit parfaitement la longitude. Mais il faudroit que l'Horloge qui marqueroit dans le vaiſſeau l'heure de Breſt, conſervât, malgré l'agitation violente & irréguliere, & malgré les changements fréquents de climats, une juſteſſe qu'à peine conſerveroit-elle à terre & dans un lieu fixe : on a imaginé des ſuſpenſions, comme celle de la lampe de Cardan, qui puſſent épargner à l'Horloge les plus rudes ſecouſſes ; on a imaginé de les tenir dans un air également chaud, qui fit l'effet du même climat. Tout cela eſt bon, & il ne faut point ſe laſſer d'imaginer encore dans la même vue. M. Caſſini eſt d'avis que l'on perfectionne toutes les méthodes ſans exception, qui ont les longitudes pour objet : ſi ce n'eſt pas réſoudre le problême dans le ſens qu'il eſt propoſé, & mériter la récompenſe promiſe, c'eſt du moins diminuer toujours de plus en plus un grand péril de la navigation, & travailler ſolidement à l'utilité publique. Une méthode ſera employée au défaut de l'autre ſelon les occaſions ; & il y en aura toujours quelqu'une qui aura lieu ; de plus, l'incertitude qui reſtera à chacune ſera levée ou amoindrie par le concours de pluſieurs, ſelon qu'elles s'accorderont plus ou moins.

2077. Il n'eſt pas temps encore d'eſpérer beaucoup pour les longitudes du ſyſtême de M. Halley ſur la déclinaiſon de l'aiman ; tout y paroît juſqu'à préſent dans un mouvement aſſez irrégulier, & ſelon des eſpeces de méridiens magnétiques aſſez bizarres ; mais peut-être en tirera-t-on un jour pour les longitudes, quelque méthode dont on augmentera le nombre

des autres qui ne peut être trop augmenté.

2078. Ce que je viens de tranſcrire de l'Ouvrage de M. Bouguer, & des Mémoires de l'Académie, eſt ſuffiſant pour donner une notion des longitudes, & pour faire ſentir combien il eſt eſſentiel de les déterminer en mer, afin de diriger la route du vaiſſeau, d'abréger le trajet, d'éviter les écueils & les naufrages auxquels un vaiſſeau eſt expoſé : ainſi rechercher les moyens de parvenir à déterminer la longitude en mer dans tous les temps, eſt le ſervice le plus grand que l'on puiſſe rendre aux navigateurs & à la ſociété : cet objet eſt donc très-capable d'exciter vivement l'émulation d'un bon citoyen. Je laiſſe aux Aſtronomes la recherche des longitudes par les éclipſes des ſatellites de Jupiter, par la lune, &c; il eſt à propos de prendre différentes routes, & chacun doit ſuivre celle qui lui convient; trop heureux ſi, en combinant différents moyens, on peut y parvenir. Quant à moi je ſuis le chemin qui a été tracé par le célebre Huyghens, le créateur de l'Horlogerie (*), je veux dire, de faire ſervir l'Horlogerie aux longitudes; car une Horloge parfaite ſeroit le moyen le plus ſimple; s'il offre des difficultés, je penſe qu'elles ne ſont pas inſurmontables; avec du courage, du génie, beaucoup de patience, on pourra y parvenir: il eſt donc à propos d'encourager les Artiſtes à faire des recherches là-deſſus : je ſouhaiterois que la navigation eût cette obligation à l'Horlogerie. Mon but eſt donc de parvenir à la compoſition d'une Horloge marine aſſez parfaite, pour meſurer exactement le temps ſur mer, malgré les agitations du vaiſſeau, &, ce qui eſt plus difficile à vaincre, les changements cauſés à une telle machine, par la différence des climats, & celle que cauſe la différence de la peſanteur. Si je ne parviens pas au but, en rendant mon Horloge marine propre à donner immédiatement la

(*) Dès la premiere application du pendule aux Horloges par Huyghens, cet Aſtronome célebre travailla à placer ces Horloges ſur des vaiſſeaux pour trouver la longitude en mer. En 1664, il y en eut quelques-unes de faites, & qui eurent aſſez de ſuccès, quoiqu'il ne pût alors faire attention aux changements de la peſanteur & des dilatations & contractions de la verge, deux cauſes qui devoient beaucoup faire varier ces Horloges en changeant de climats.

longitude, j'oſe croire qu'elle ſervira au moins à faire des obſervations en mer, & que jointe à la Chaiſe marine que M. Irwin a inventée en dernier lieu en Angleterre, on pourra, en réuniſſant ces deux moyens, avoir la longitude dans tous les temps : enfin ces recherches, quand même elles n'auroient pas le ſuccès qu'on peut deſirer, ont un but aſſez noble pour dédommager des peines qu'elles coûtent, par la ſeule ſatisfaction de l'avoir oſé tenter ; elles ſont d'ailleurs utiles, puiſqu'elles ne ne font que perfectionner l'art, & ajouter à ce qu'on ſavoit, car ce n'eſt que par degrés que l'on parvient à la perfection : ce qui a échappé à ceux qui ont entrepris la même carriere, je puis l'avoir ſaiſi ; & un homme de génie qui travaillera après moi, achevera ou ſuppléera à ce qui manque à mes recherches.

2079. Avant de décrire l'Horloge marine que j'ai compoſée & exécutée, je dois rendre compte des principes & raiſonnements qui m'ont conduit à ſa conſtruction ; c'eſt ce qui forme la matiere du Chapitre ſuivant ; enſuite nous donnerons dans le Chapitre XLII la deſcription de cette Horloge ; & enfin, dans le Chapitre XLIII, nous rendrons compte de ſon ſuccès, & le détail des expériences que j'ai faites.

CHAPITRE XLI.

Examen des Principes que l'on doit ſuivre dans la compoſition d'une Horloge-Marine, au moyen de laquelle on puiſſe déterminer les longitudes en Mer.

2080. POUR parvenir ſûrement à la compoſition d'une bonne machine qui puiſſe meſurer exactement le temps en mer, il faut examiner, avec une extrême attention, les cauſes de la juſteſſe d'une Horloge aſtronomique, afin de ſuivre, s'il eſt

Horloge aſtronomique, c'eſt que le point de ſuſpenſion du pendule reſte ſenſiblement le même; c'eſt-à-dire, que la réſiſtance ou frottement qui s'oppoſe au mouvement du pendule eſt toujours la même, & ne varie point, ou infiniment peu, & elle cauſe d'autant moins de changement dans la durée des oſcillations, qu'elle eſt infiniment petite, relativement à la force de mouvement du pendule.

2090. 6°, Enfin, nous devons obſerver ici que la juſteſſe d'une Horloge aſtronomique dépend auſſi de la grande différence qu'il y a entre la quantité du mouvement du pendule & la force motrice; car il pourroit encore arriver que, malgré toutes les propriétés du pendule que nous venons de rapporter, l'Horloge où il ſeroit appliqué, feroit des écarts; c'eſt dans le cas où la force motrice ſeroit aſſez grande pour donner le mouvement au pendule auparavant en repos, (comme cela ſe fait dans les montres); or la juſteſſe d'une telle machine dépendroit alors de l'uniformité de force tranſmiſe au régulateur par le moteur; mais la force tranſmiſe au régulateur, lors même que le moteur eſt un poids, varie par la coagulation des huiles, par les frottements du rouage, (qui ſeroient alors très-grands, ainſi que ceux de l'échappement), par la contraction des huiles par le froid, &c; donc la force motrice étant plus grande que celle du régulateur, celui-ci en ſuivroit les impreſſions, & on ne pourroit parvenir à donner de la juſteſſe à une telle machine, qu'en appliquant un échappement qui eût la propriété de rendre iſochrones les oſcillations du pendule, malgré l'inégalité des arcs qu'il décrit: & un tel moyen ne donneroit pas toute la juſteſſe poſſible; car les frottements de l'échappement changeroient ſa propriété. L'addition de la cicloïde ne réuſſiroit pas mieux, car elle ne pourroit ſe faire qu'avec un échappement à repos, dont les frottements changent beaucoup: lors donc que l'on veut que les oſcillations du pendule ſoient iſochrones, ſans recourir à des propriétés d'échappements très-difficiles à obtenir, & plus encore à conſerver, il faut que la force motrice ne faſſe que reſtituer au pendule la force qu'il perd à chaque oſcillation.

REMARQUE.

REMARQUE.

2091. Nous devons obſerver ici par rapport au pendule, qu'il faut que le point de ſuſpenſion de cet excellent régulateur ſoit parfaitement inébranlable & ſolidement arrêté, ſans quoi le moindre mouvement ou flexion qu'il auroit, changeroit la durée des oſcillations, & feroit même arrêter le pendule, pour peu que ce mouvement fût un peu conſidérable; car ſi on ſuppoſe que pendant que le pendule éloigné de la verticale tend à deſcendre, le point de ſuſpenſion ſe meuve ſelon le plan d'oſcillations en ſens contraire de la deſcente du pendule, & avec la vîteſſe de la lentille, celle-ci arrivée au milieu de ſa deſcente reſteroit en repos, puiſqu'elle ſe trouveroit dans la verticale du point de ſuſpenſion, ſans avoir acquis de force pour remonter de l'autre côté; & par une ſuite de la même remarque, les oſcillations du pendule changeroient de durée ſelon la diverſité de mouvement relatif de ſuſpenſion avec ceux de la lentille.

Recherches pour parvenir à ſubſtituer un Régulateur aux Horloges-Marines, qui ait les mêmes propriétés que le Pendule.

2092. La remarque que nous venons de faire ſur la néceſſité de rendre très-fixe le point de ſuſpenſion du pendule, ſert à nous faire voir l'impoſſibilité d'employer un tel régulateur (*) aux Horloges marines continuellement expoſées à

(*) Le pendule oppoſe encore un autre obſtacle qui l'empêche de pouvoir ſervir en mer, quand même on parviendroit à ſuſpendre l'Horloge, de maniere à ne pas déranger les oſcillations; c'eſt celui qui eſt cauſé par la différence de la peſanteur: car un pendule qui bat les ſecondes à Paris, doit être plus court ſi on le tranſporte ſous l'équateur, & plus long ſi on le tranſporte ous le pole; & cette différence de la peſanteur eſt capable de cauſer des écarts très-conſidérables; car la longueur du pendule qui bat les ſecondes ſous l'équateur eſt de 36 pouc. lig. 7, 07 au niveau de la mer: à Paris, dont la latitude eſt de 48 degr. 50 min. la longueur du pendule à ſecondes eſt de 36 pouc. 8 lig. 57; à Pello en Laponie, à 66 degr. 48 min. de latitude, 36 pouc. 9 lig. 17; c'eſt-à-dire, qu'une Horloge qui ſeroit réglée à Pello, retarderoit d'environ 3 min. ½

toutes ſortes d'agitations & mouvements : il faut donc recourir à un régulateur qui conſerve ces oſcillations, malgré qu'il ſoit agité ; tel eſt celui que l'on emploie dans les montres, je veux dire le balancier ; cette propriété du balancier vient, comme nous l'avons vu (124), de ce que ſon centre de mouvement eſt le même que celui de gravité.

2093. Voyons maintenant comment on peut parvenir à ſubſtituer au balancier l'équivalent des propriétés qui cauſent la juſteſſe du pendule.

2094. 1°, En faiſant un balancier peſant, il éprouvera une moindre réſiſtance de l'air.

2095. 2°, En faiſant le balancier fort grand, comme d'un pied de diametre, on diminuera le frottement à proportion ; mais pour remplir cet objet, il faut que la peſanteur du balancier ſoit ſupportée, de maniere à produire le moindre frottement poſſible ; c'eſt ce que nous expliquerons ci-après.

2096. 3o, La propriété que donne la peſanteur au pendule pour lui faire faire des vibrations, eſt celle qu'il eſt le plus difficile de donner au balancier ; car ſi on vouloit les produire par un poids, comme avoit fait Sully, la moindre inclinaiſon ou agitation de la machine augmenteroit ou diminueroit l'action du poids, ce qui changeroit la durée des oſcillations ; d'ailleurs ce poids par ſa deſcente participeroit aux changements de peſanteur produits par la différence des latitudes : le reſſort ſpiral eſt donc le ſeul agent connu propre à produire les oſcillations du balancier, puiſque ſon action eſt la même dans toutes les poſitions ; mais on ſait qu'un reſſort agit avec plus ou moins de force, ſelon qu'il fait chaud ou froid, ce qui fait accélérer ou retarder les oſcillations du balancier : nous expliquerons ci-après par quels moyens nous eſpérons parvenir à vaincre cet obſtacle.

2097. 4°, Lorſque le balancier libre décrit de grands arcs,

par jour, ſi on la tranſportoit ſous l'équateur : il eſt vrai que l'on pourroit conſtruire une courbe, au moyen de laquelle on éleveroit & baiſſeroit le pendule ſelon la longueur requiſe pour telle latitude ; mais cette courbe ne pourroit être que tâtonnée, & par conſéquent ſujette à erreur ; ce moyen ſeroit d'ailleurs trés-incommode : on pourroit auſſi ſouſtraire de l'heure marquée par l'horloge à pendule, le changement qui a dû arriver par telle différence de latitude.

ces arcs diminuent & changent ſenſiblement d'étendue; ainſi il faut une grande force pour en entretenir le mouvement; au contraire, lorſqu'il décrit de petits arcs, il s'en fait, comme dans le pendule libre, un grand nombre de même étendue; par conſéquent les oſcillations ſont alors ſenſiblement de même durée, & la force requiſe pour en entretenir les vibrations eſt très-petite, & differe de beaucoup de la force du mouvement du balancier. Il faut donc faire décrire de petits arcs au balancier, & ne donner pour force motrice que la quantité requiſe pour reſtituer au balancier la force que la réſiſtance de l'air, les frottements des pivots & de la ſuſpenſion lui font perdre; mais il eſt bon de remarquer que dans ce cas la force motrice ne ſera pas ſuffiſante pour rendre le mouvement au balancier lorſque la machine eſt arrêtée, & que par conſéquent, pour la faire marcher, il faut donner le mouvement au balancier, comme on le fait dans les horloges à pendule, ce qui ne ſouffre aucune difficulté. Il n'en eſt pas de même de l'effet des agitations du vaiſſeau; car ces agitations peuvent être aſſez grandes pour augmenter & diminuer le temps des vibrations, & même pour arrêter la machine, défaut très-conſidérable; il eſt vrai qu'en donnant aſſez d'action à la force motrice, elle pourroit alors redonner le mouvement au balancier: or ces oſcillations ſeroient alors ſujettes aux variations de la force motrice; enfin, on pourroit encore corriger ces inégalités de force motrice par un échappement iſochrone. Mais nous avons heureuſement un moyen propre à lever ces obſtacles, en conſervant au régulateur les propriétés du pendule; c'eſt de faire deux balanciers de même diametre, poids, &c, dont les axes portent des roues qui s'engrenent & ſe communiquent le mouvement de la même maniere que je l'ai fait à la montre décrite (*Part. II, Ch. XXXVII*); par ce moyen, aucune agitation du vaiſſeau ne pourra troubler les oſcillations du régulateur; car ces balanciers tournent toujours en ſens contraire; ainſi les impreſſions du vaiſſeau ſur un balancier, ſeront auſſi-tôt détruites par l'autre balancier. Il ne ſera donc beſoin que de très-peu de force motrice, dont l'inégalité ne pourra troubler l'iſochroniſme des vibrations.

2098. Enfin nous ſuſpendrons la machine, de maniere que tous les mouvements & les agitations du vaiſſeau ne puiſſent changer ſenſiblement la poſition de la machine. Nous allons entrer dans tous les détails de conſtruction qui ont précédé l'exécution de notre Horloge marine.

2099. 1°, Les balanciers ſeront poſés horizontalement; ainſi leurs oſcillations ſe feront dans un plan perpendiculaire aux balancements du vaiſſeau.

2100. 2°, Les balanciers ſeront ſuſpendus par des reſſorts (*a*) qui en ſoutiendront toute la maſſe; enſorte qu'ils n'éprouveront qu'un frottement infiniment petit, & qui ſera conſtamment le même, à cauſe de la poſition avantageuſe des balanciers qui ſe meuvent horizontalement, & que leurs pivots ne ſupportent qu'une très-petite partie du poids des balanciers, lors même que la poſition n'eſt pas tout-à-fait horizontale.

2101. 3°, Comme le frottement qui ſe feroit ſur la circonférence des pivots ſeroit conſidérable, ſi les balanciers prenoient toutes les inclinaiſons du vaiſſeau, nous employerons tous les moyens poſſibles pour conſerver les balanciers toujours ſenſiblement horizontaux. Pour cet effet, l'Horloge ſera attachée à une ſuſpenſion (*b*) à peu-près ſemblable à celle qu'on employe pour les bouſſoles marines, mais avec une diſpoſition particuliere. Autour des quatre pivots qui forment les balancements, par le roulis & le tangage, il y aura quatre demi-cercles ayant tous même grandeur, & ſur leſquels on fera appuyer une plaque d'acier, afin de produire un frottement égal qui empêche-

(*a*) Avant de déterminer exactement la conſtruction de mon Horloge marine, je fis des expériences ſur un grand balancier peſant: j'eſſayai d'abord de faire vibrer le balancier peſant en faiſant rouler la pointe du pivot ſur une agathe orientale; mais le pivot creuſoit la pierre: enſuite j'employai un d amant; alors la pointe du pivot s'émouſſoit, & de ſorte que les vibrations de ce balancier libre ceſſoient en très-peu de temps: enfin j'imaginai de le ſuſpendre par un reſſort de la maniere qu'on le voit *Pl. XXXI, fig.* 1; ce qui me réuſſit parfaitement.

(*b*) Je m'étois d'abord propoſé d'employer une ſuſpenſion à genou, à peu près ſemblable à celle d'un pied ordinaire de téleſcope; mais j'ai obſervé que pour éviter que l'axe de la boule ne touchât aux calottes dans les grandes agitations du vaiſſeau, il faudroit faire l'ouverture de cette calotte très-grande, & que dans ce cas il ne reſteroit qu'une très-petite ſuperficie frottante que le frottement continuel de la boule auroit bientôt détruite, & qu'alors ce frottement deviendroit beaucoup plus conſidérable.

ra les oſcillations de la machine, dont le poids ne ſera que ſuffiſant pour ramener à la ſituation horizontale; on augmentera & on diminuera ce frottement à volonté.

2102. 4°, Pour éviter les contre-coups que peuvent cauſer les agitations violentes du tangage, j'adapterai au-deſſous de la ſuſpenſion un reſſort en forme de tirebourre, lequel ſuſpendra l'Horloge, & adoucira les ſecouſſes de la même maniere que les reſſorts d'un carroſſe.

2103. 5°, Lorſque la mer eſt fortement agitée, le vaiſſeau reçoit des mouvements de trépidation à peu-près comme une montre que l'on feroit aller & revenir vivement en la tournant ſelon le plan du cadran; ce mouvement ſe fait donc ſelon le plan des balanciers; & quoique les deux balanciers doivent ſervir à rendre nulles de telles agitations, il eſt eſſentiel de les empêcher de parvenir juſqu'aux balanciers: c'eſt pour l'éviter que la ſuſpenſion ſera conſtruite, de maniere que le vaiſſeau venant à tourner ſelon ſon plan, par ce mouvement de trépidation, la ſuſpenſion tournera ſéparément de l'Horloge, dont l'inertie la fera reſter en repos.

2104. 6°. Pour diminuer les frottements ſur la circonférence des pivots, au lieu de les faire rouler dans des trous de cuivre, je ferai ces trous dans des agathes orientales les plus dures, & je conſtruirai l'axe des balanciers, de maniere que l'on puiſſe rapporter aiſément des pivots d'un acier fin & trempé très-dur; car ſi on formoit les pivots ſur les axes mêmes, il ne ſeroit pas poſſible de leur donner le même degré de dureté, puiſque plus les pieces ſont groſſes, & moins l'acier eſt fin, & moins il devient dur; d'ailleurs ſi on venoit à caſſer un pivot, on le rapporteroit facilement, comme on le verra dans la deſcription du Chapitre ſuivant. Enfin il réſultera de cette diſpoſition des pivots & des trous, que l'huile que l'on mettra pour adoucir encore le frottement, ſe conſervera très-longtemps pure; car il ne pourra ſe détacher des parties, qui broyées avec l'huile, l'épaiſſiſſent bien-tôt, (comme cela arrive aux montres) ce qui altére néceſſairement la liberté de mouvement du balancier.

2105. 7°, Les vibrations des balanciers ſeront produites par des reſſorts ſpiraux les plus parfaits poſſibles, c'eſt-à-dire, de bon acier, & trempés très-dur.

2106. 8°, Chaque balancier ſera réglé par un ſpiral, & de ſorte qu'en les faiſant vibrer ſéparément, leurs oſcillations ſoient d'une ſeconde; & lorſqu'ils ſeront mis en place, & qu'ils ſe communiqueront par l'engrenage des roues, ils feront leurs vibrations dans le même temps (une ſeconde): l'engrenage ſervira donc uniquement dans le cas d'agitation du vaiſſeau.

2107. 9°, Il faut que les deux bouts de chaque ſpiral ſoient attachés très-ſolidement, l'un à la virole portée par l'axe, & l'autre à la platine, de maniere que le piton ne puiſſe ni fléchir ni vibrer; car ſans cela le mouvement de vibration que l'on donneroit au reſſort ſeroit bien-tôt détruit, puiſque ſa force ſe conſumeroit à ébranler le corps qui le retient; & celui-ci ne reſtituant pas la même quantité de mouvement, les oſcillations diminueroient plutôt; il arriveroit auſſi que les oſcillations ſe feroient en des temps différents de ce qu'elles ſeroient ſi le reſſort eût été fixé très-ſolidement.

2108. 11°, La perfection des reſſorts ſpiraux eſt très-eſſentielle, & exige des ſoins infinis: il faut qu'ils ayent une bonne courbure, & que la force des lames ſoit ménagée, de ſorte qu'en vibrant, toutes les parties du reſſort ſe développent; ils doivent être trempés très-dur. Pour cet effet, il faudra les tremper après qu'ils ſeront pliés; de cette maniere ils reſtitueront une plus grande partie de la force qu'ils reçoivent: ainſi le balancier vibrera plus long-temps.

2109. Il ne faut pas que les ſpiraux gênent les balanciers en preſſant les pivots contre les trous; comme ils ſeront forts, une telle preſſion cauſeroit un frottement capable de troubler les vibrations; ainſi lorſque les balanciers ſeront arrêtés & la machine poſée horizontalement, il ne faut pas que les pivots touchent aux parois des trous; c'eſt pour y parvenir que je diſpoſe le piton du ſpiral, de maniere à pouvoir l'approcher ou l'écarter du centre, & à l'arrêter avec deux fortes vis au point où le reſſort libre le porte.

2110. La virole du ſpiral arrêtera le ſpiral au moyen de deux vis; & le ſpiral pourra monter & deſcendre ſur le piton & ſur la virole, de maniere à ne pas pouvoir être bridé ſelon la hauteur des lames.

2111. Pour que le ſpiral, par ſon mouvement, ne porte pas les pivots du balancier tantôt d'un côté des trous, & tantôt de l'autre, il faut qu'il faſſe pluſieurs tours de lame, & que la virole du ſpiral ſoit bien au milieu du reſſort; alors le balancier tournera ſans que que ſon centre ſe meuve hors de l'axe.

2112. 12°, Pour employer la moindre force motrice, les balanciers ne décriront que des arcs d'environ 20 degrés.

2113. 13°, La force motrice ne ſera que de la quantité requiſe pour entretenir les vibrations du balancier.

2114. 14°, La force motrice d'une telle machine ne peut être un poids; car les agitations du vaiſſeau tendroient à diminuer ou à augmenter ſon action; j'employerai donc un reſſort, dont la force ſera rendue uniforme au moyen d'une *fuſée*.

2115. 15°, J'ai fait voir (1989) que plus un reſſort a de vîteſſe, & fait des vibrations approchantes de celles d'un ſpiral de balancier, & plus un tel reſſort conſerve ſon élaſticité: je ne ferai donc marcher cette Horloge que 24 heures ſans remonter.

2116. 16°, La force tranſmiſe par le rouage au régulateur, change néceſſairement par les frottements, par l'épaiſſiſſement des huiles, par l'action du chaud & du froid ſur les huiles & ſur le reſſort moteur, &c; ainſi l'étendue des arcs décrits par les balanciers, doit auſſi changer de même que la durée des vibrations. Pour éviter ces petites inégalités, j'emploierai un échappement qui rende les oſcillations iſochrones, malgré l'inégalité de force motrice.

2117. 17°, Dans une machine dont le moteur eſt un reſſort, on n'eſt pas maître d'appliquer très-exactement la force convenable pour entretenir les vibrations du régulateur: j'emploierai ici, pour ſuppléer à cette difficulté, une fourchette mobile, qui fera décrire de plus grands ou plus petits arcs au balancier, ſelon que je l'approcherai ou l'éloignerai du centre du balancier.

2118. 18°, Pendant qu'on remonte une montre, elle s'arrête. Pour éviter ce défaut eſſentiel dans notre Horloge, nous emploierons une détente qui entretiendra le mouvement de la machine; cette détente portera une piece qui recouvrira le trou du remontoir, enſorte qu'on ne puiſſe faire entrer la clef ſur le quarré ſans avoir déplacé la détente, & par conſéquent ſans la faire agir ſur le rouage.

2119. 19°. Les roues du mouvement ſeront placées horizontalement, comme les balanciers; ainſi leur peſanteur ſera portée par la pointe des pivots qui rouleront ſur des coquerets d'acier.

2120. 20°, Les expériences que j'ai faites ſur les balanciers libres, m'ont appris que plus les vibrations ſont lentes, & plus l'impulſion qu'on donne au balancier ſe conſerve longtemps, d'où on voit qu'il ſeroit avantageux d'employer des vibrations lentes, parce qu'alors la force requiſe pour entretenir le mouvement du balancier, ſeroit très-petite; mais il eſt bon d'obſerver, ainſi que nous l'avons fait (1865) que la quantité de mouvement d'un régulateur doit être grande, afin que les changements qui peuvent arriver dans les frottements & les huiles, ſoient dans un moindre rapport avec cette force; je ferai donc chaque vibration d'une ſeconde, ce qui eſt préférable à des oſcillations plus lentes, ſur-tout pour ſervir à obſerver.

2121 21°, Enfin, je diſpoſerai un méchaniſme qui ſoit tel, que les impreſſions du chaud & du froid ne changent pas la durée des oſcillations des balanciers; & jeſpere en venir auſſi heureuſemement à bout que pour les Horloges aſtronomiques. Pour cet effet, je placerai ſur la cage des balanciers une verge compoſée de verges d'acier & de cuivre, à peu près ſemblables à la verge du pendule aſtronomique (*Pl. XXIII, fig.* 12): je ferai agir ſur la verge de cuivre du milieu le petit bout d'un grand levier; & l'extrémité du grand portera une cheville qui fera mouvoir le rateau qui porte les chevilles, entre leſquelles le ſpiral d'un des balanciers paſſe: ainſi lorſque la chaleur agiſſant ſur les ſpiraux, les affoiblira, & tendra à retarder les vibrations du régulateur,

régulateur, la même chaleur agira ſur les verges, & fera mouvoir le levier, & par conſéquent le rateau, & de ſorte qu'il accélérera les vibrations de la même quantité que l'affoibliſſement des ſpiraux l'a fait retarder, & compenſera ainſi les écarts que le chaud & le froid pourroient produire : voici en gros la route qu'il faudra tenir.

2122. Lorſque l'Horloge marine ſera exécutée, je la placerai d'abord au froid de la glace, & enſuite au chaud de 30 ou 40 degrés, afin d'eſtimer la variation que cette différence de température cauſe à l'Horloge : je noterai exactement ces écarts. Je placerai enſuite l'Horloge dans un air tempéré ; j'avancerai le rateau ou porte-cheville du ſpiral, juſqu'à ce qu'il faſſe autant avancer l'Horloge, que le froid l'avoit faite avancer dans le temps donné de l'expérience ; je placerai enſuite le rateau en arriere, & ferai retarder l'Horloge de la même quantité que la chaleur l'a faite retarder, ayant attention que pendant tout ce temps l'Horloge ſoit à la même température ; je marquerai ſur la platine les points où a été conduit le rateau ; cela connu, j'aurai la quantité dont il faudroit tourner ce rateau, pour conſerver les oſcillations des balanciers iſochrones, quoiqu'ils éprouvaſſent le froid de la glace, & paſſaſſent enſuite à 30 ou 40 degrés de chaleur. Je compoſerai donc en conſéquence la verge de compenſation, avec plus ou moins de verges, ſelon la quantité de mouvement que devra faire le rateau ; cela donnera auſſi les dimenſions du levier de compenſation, & la diſtance où il devra agir ſur le rateau ou porte-cheville du ſpiral ; mais je me réſerverai encore un moyen de changer ces dimenſions, en rendant mobile la cheville du grand levier de compenſation, afin de la faire agir plus loin ou plus près du centre du rateau, & par conſéquent de lui faire parcourir plus ou moins d'eſpace, & de corriger, ſelon qu'il ſera beſoin, ces rapports, afin que la compenſation ſe faſſe exactement lorſque l'Horloge ſera expoſée à différentes températures.

2123. La déſcription de cette Horloge ſuppléera à ce qu'on n'aura pas entendu ci-devant.

2124. Voilà en gros les principes de conſtruction que nous avons établis ſur notre Horloge marine, avant de travailler à ſon exécution : nous allons maintenant la décrire, réſervant quelques expériences que j'ai faites pour être placées à la ſuite du Chap. XLII.

CHAPITRE XLII.

Deſcription de l'Horloge Marine que j'ai compoſée, pour ſervir à la Navigation, & à déterminer la Longitude en Mer.

PLANCHE XXX.

2125. LA figure de la XXXe Planche repréſente l'Horloge-marine toute montée avec ſa ſuſpenſion, en un mot, prête à attacher au vaiſſeau.

De la Suſpenſion.

2126. *A B C D*, eſt une plaque épaiſſe de cuivre qui doit poſer ſur une planche du plafond du vaiſſeau, avec laquelle elle s'attache au moyen des quatre fortes vis, 1, 2, 3, 4; cette plaque eſt percée d'une grande ouverture parallélogramme *a, b, c, d*; la planche du vaiſſeau doit avoir une pareille ouverture pour laiſſer le jeu à la ſuſpenſion : cette plaque *A D* qui eſt fondue, porte deux parties oppoſées & ſemblables *E, F*, qui ſont deux demi-cercles, dont le centre eſt percé & taraudé pour recevoir les vis *G*, dont les bouts ſont terminés par des pivots : le cercle *H I* eſt diviſé & percé de quatre trous, dont deux ſervent pour recevoir les pivots portés par les pieces *E, F*, & les deux oppoſés reçoivent les pivots des vis *K, L*; ces

vis ſont attachées ſur une forte fourchette de cuivre fondu *M N O*; la fourchette porte en *N* l'axe *Q P* qui ſupporte l'Horloge. Ainſi on voit que ſi le vaiſſeau s'incline ſelon ſa longueur, c'eſt-à-dire, qu'il agiſſe par le *tangage*, le roulement ſe fera ſur les pivots oppoſés portés par les pieces *E*, *F*; & à cauſe de la peſanteur de l'Horloge, elle reſtera immobile pendant que le vaiſſeau balancera ſur ſa longueur; & ſi le vaiſſeau ſe balance ſelon ſa largeur, c'eſt-à-dire, par le *roulis*, le roulement ſe fera ſur les pivots des vis *K*, *L*, & l'Horloge reſtera encore en repos, ou ſenſiblement horizontale; enfin, ſi les balancements du vaiſſeau ſe font en partie par le roulis, & partie par le tangage, alors le mouvement de la ſuſpenſion ſera formé, partie par le roulement autour des pivots *K*, *L*, & partie autour de ceux *G*, *F*, & l'Horloge reſtera encore horizontale.

2127. Autour des vis *K*, *L*, ſont formés deux demi-cercles, *M*, *O*, pareils à ceux *E* & *F*, & de même rayon; le reſſort à quatre branches *Q Q*, agit ſur chacun de ces cercles, & il les preſſe également, pour produire un frottement capable d'empêcher les oſcillations que pourroit prendre l'Horloge dans de certaines agitations du vaiſſeau: la broche *e* qui porte ce reſſort, eſt fixée ſur une plaque portée par le deſſous du cercle *H I* (*); l'écrou *f* ſert à donner plus ou moins de tenſion au reſſort *Q Q*, & par conſéquent à changer le frottement qu'il produit autour des demi-cercles *E*, *F*, *M*, *O*. Pour empêcher que le frottement ſur les pivots des vis *G*, *F*, *K*, *L* ne puiſſe faire tourner les vis dans leurs trous, chaque demi-cercle porte un couſſinet,

(*) J'avois fait percer ce cercle *H I* d'un aſſez grand trou, afin d'y laiſſer paſſer un prolongement de l'axe *Q P*; cet axe ainſi prolongé, auroit ſervi à porter une Chaiſe ſur laquelle on auroit pu aſſeoir un Obſervateur, comme l'a fait M. Irwin en Angleterre; mais j'ai ſupprimé cet uſage, me contentant de mon objet: d'ailleurs cette ſuſpenſion, lorſque le vaiſſeau agit en même-temps par le tangage & le roulis, fait faire à l'Horloge un petit mouvement horizontal qui ne fait rien à l'Horloge, mais qui auroit été très-contraire à l'Obſervateur: au reſte, il ne ſera pas difficile de joindre ces deux propriétés à la ſuſpenſion; celle de porter un Obſervateur & l'Horloge. Dans mon ancien plan, je m'étois propoſé de faire porter par les côtés de la Chaiſe deux branches qui auroient paſſé au-deſſus de la tête de l'Obſervateur, & dont une traverſe auroit porté une ſuſpenſion à genou, ſur laquelle devoit être attaché le téleſcope; cette ſeconde ſuſpenſion auroit infiniment réduit l'effet des agitations du vaiſſeau; elle auroit pu ſervir à porter une Horloge à pendule à demi-ſeconde & à poids.

comme *g*, qui traverſe le trou, & eſt taraudé ; la vis de preſſion *h* agit ſur le couſſinet, & fixe très-ſolidement la vis avec ſon trou.

2128. L'axe *P Q* porte, par ſon extrémité ſupérieure, la boule *Q* qui roule dans la cavité ſphérique faite en *N* à la fourchette *M N O*. La boule a deux ſortes de mouvements ; le premier, par lequel l'Horloge pourra tourner horizontalement & ſéparément de la ſuſpenſion ; c'eſt pour éviter que lorſque le vaiſſeau eſt fortement agité, & qu'il a des mouvements de trépidation, il ne puiſſe entraîner l'Horloge ; car la force d'inertie ſera ſupérieure à la réſiſtance de la boule, ce qui fera reſter immobile l'Horloge, tandis que le vaiſſeau ira & reviendra vivement ſur lui-même ; le ſecond mouvement de la boule permet à l'axe *Q P* de s'incliner de côté & d'autre ſur la fourchette, par le roulement de la boule dans ſa cavité ſphérique ; pour cet effet, le trou de la fourchette, à travers lequel paſſe l'axe, eſt aggrandi ſelon les lignes ponctuées *i*, *l*. Le mouvement d'inclinaiſon que peut prendre l'axe *Q P*, ſelon tous les ſens, eſt ſemblable à celui d'une ſuſpenſion à genou ; il peut ſervir à diminuer l'effet des balancements du vaiſſeau qui ſe font en même-temps par le tangage & le roulis. La traverſe *m* poſe ſur le ſommet de la boule *Q* ; cette traverſe eſt rendue fixe après la fourchette au moyen de deux vis, comme *n* ; en ſerrant plus ou moins ces vis, on cauſe plus ou moins de frottement à la boule, & ſelon qu'il eſt beſoin pour empêcher le mouvement de vibration que pourroit prendre l'Horloge : cette traverſe *m* ſert en même-temps à empêcher que dans de fortes ſecouſſes du vaiſſeau, la boule & l'axe ne puiſſent s'éloigner de la fourchette.

2129. L'axe *Q P* porte une forte plaque ronde *R*, formée ſur l'axe même ; elle ſert à retenir, au moyen des deux ponts *o*, *p*, le bout inférieur d'un reſſort à boudin *S*, dont le trou entre librement ſur l'axe ; le bout ſupérieur de ce reſſort eſt fixé par deux ponts oppoſés *q*, avec la partie *T*, ſur laquelle s'attachent les quatre branches 5, 6, 7, 8, dont les extrémités inférieures ſont fixées à la cage de l'Horloge : l'axe *Q P* eſt

cylindrique, il entre librement dans les trous faits en *T* & *V*; ainſi le reſſort *S* ſoutient toute la peſanteur de l'Horloge, & s'il arrive que le vaiſſeau éprouve de fortes ſecouſſes par le tangage, le reſſort fléchit, & cede à leur impreſſion qui ne ſe communique pas juſqu'à l'Horloge. On voit que la croix *V* ſert à retenir l'extrémité *P* de l'axe, & à l'empêcher de s'incliner d'aucun côté, en conſervant toujours cet axe dirigé perpendiculairement au plan du cadran de l'Horloge, & au centre de gravité de la machine; cette croix *V* eſt attachée par quatre vis, avec les branches 5, 6, 7, 8.

2130. Le bout ſupérieur de chaque verge 5, 6, &c, eſt attachée après la piece *T* par deux vis, & les bouts inférieurs ſont fixés à la cage de l'Horloge par deux vis.

2131. *X Y Z* eſt la cage des balanciers de l'Horloge: le mouvement *B B* eſt porté par la plaque du cadran *A A*; & celle-ci eſt fixée par quatre vis ſur deux ponts oppoſés *C C*. *D D*, *E E* ſont les deux balanciers ſuſpendus l'un & l'autre, comme celui *D D*, par la ſuſpenſion à reſſort *r*; *F F* eſt le bout de la verge de compenſation; le levier *s t* mobile en *s*, porte le bout *u* qui appuie ſur le bout *x* de cette verge; l'autre bout *t* du levier agit ſur le rateau *y* du ſpiral *G G*, pour compenſer les effets du chaud & du froid. *H H* eſt la partie non dentée de la roue portée par le balancier *D D*; l'autre roue portée par le balancier *E E*, n'eſt pas vue dans la fig. de la Planche XXX.

2132. Nous venons de décrire particuliérement ce qui concerne la ſuſpenſion, & de donner en gros une idée de l'Horloge; il faut entrer maintenant dans les détails qu'exige cette machine, pour être conçue.

2133. La fig. de la Planche XXXI repréſente la cage ou chaſſis des balanciers, lorſqu'on ôte le mouvement & la ſuſpenſion de l'Horloge. Le chaſſis *A B C D* eſt fait d'une ſeule piece de cuivre fondu; les montants tiennent lieu de piliers, & s'élevent perpendiculairement à la baſe *E F*; ces montants ſont terminés par des bouts taraudés qui paſſent à travers les trous faits aux branches *a*, *b*, *c*, *d* de la platine ſupérieure *G*; ces vis entrent dans les écrous 1, 2, 3, 4, & fixent ſoli-

dement le chaſſis inférieur & la platine *G*, ce qui forme la cage dans laquelle ſe meuvent les balanciers *H, I.*

2134. Les ponts *e f, g h* ſont attachés chacun par deux vis à la platine *G a b c d*; ces ponts ſervent à recevoir la plaque du cadran qui s'attache deſſus au moyen de quatre vis qui entrent ſur les bouts ſupérieurs 5, 6, 7, 8; la cage du mouvement entre dans l'intervalle *f g* que forment ces ponts.

2135. L'ouverture *G* ſert à laiſſer deſcendre le pont & la fourchette d'échappement, dont le rouleau porté par la fourchette va agir ſur la fente *K* de la roue portée par le balancier *I*, ce qui entretient le mouvement des balanciers. Les ponts *e f, g h* ſervent auſſi à porter la ſuſpenſion des balanciers: pour cet effet le milieu de chaque pont eſt percé en *i* & *l* d'un trou, à travers lequel paſſe une piece ronde ou broche qui porte une baſe, pour la retenir ſur le pont; le bout de cette piece eſt fendu par le milieu, de maniere à y recevoir les plaques de cuivre qui attachent le bout ſupérieur des reſſorts de ſuſpenſion *m, n*; ces plaques & la piece qui traverſe le pont ſont aſſemblées par une cheville. Pour empêcher que l'action des reſſorts ne faſſe tourner les broches, les petits coquerets *i, l*, preſſent ces broches contre le pont, au moyen des vis qui les attachent.

2136. Le bout inférieur des reſſorts eſt attaché de la même maniere que celui ſupérieur, à une petite broche fixée ſur les plaques *o, p*; ces plaques ſont aſſemblées par deux vis, avec des aſſiettes fixées ſur les axes des balanciers (ces aſſiettes ſont logées dans l'épaiſſeur de la platine *G*;) ainſi toute la peſanteur des balanciers eſt ſupportée par les reſſorts de ſuſpenſion *m, n.*

2137. Pour empêcher que les axes des balanciers ne puiſſent s'éloigner ou s'approcher, ni changer de poſition, les axes des balanciers ſont terminés par des pivots qui roulent dans des trous faits à deux traverſes *q* attachées à la platine *G* avec deux vis; les pivots inférieurs des balanciers roulent dans des trous faits à la platine *E F* (*): or comme par la diſpoſi-

(*) Les deux vis qui aſſemblent les reſſorts de ſuſpenſion avec les axes de balancier, ſe meuvent dans l'ouverture de la platine ſur les côtés des traverſes: on voit que

tion de la ſuſpenſion l'horloge doit toujours être ſenſiblement horizontale, & que les plans des balanciers ſe meuvent horizontalement, on voit que le frottement ſur la circonférence des pivots ſera infiniment petit. Nous avons déja parlé des moyens que nous avons employés pour le réduire encore, en employant des agathes percées : nous expliquerons ci-après la diſpoſition de toute cette partie de la ſuſpenſion des balanciers & des pivots.

2138. Les roues *K* & *L* ſont fixées chacune par deux vis ſur les aſſiettes des axes des balanciers ; ces roues ſon dentées chacune du tiers du tour ; elles s'engrenent pour que le mouvement de l'une ſoit communiqué à l'autre, & détruire, par l'oppoſition de leur chemin, l'effet des agitations du vaiſſeau ; une de ces roues eſt d'acier, & l'autre de cuivre ; elles ſont fendues ſur le nombre 150, afin que l'engrenage en ſoit plus parfait ; il n'y a que 50 dents de fendues, le reſte étant inutile. Elles ſont entieres, pour ne pas changer l'équilibre.

2139. Chaque balancier a un pied de diametre, & peſe 3 liv. 9 onces 6 gros ; les balanciers ſont fixés ſur leurs axes, chacun par deux vis qui entrent dans des trous faits aux aſſiettes.

2140. Le bout inférieur de chaque axe de balancier porte une virole qui tourne à frottement ; ces viroles reçoivent & fixent les bouts intérieurs des reſſorts ſpiraux *M*, *N* ; les bouts extérieurs des ſpiraux ſont attachés aux pitons *O*, *P*, dont les baſes ſe fixent à la platine *E F*, chacune par deux fortes vis ; les pitons ſont formés par les baſes *O*, *P*, & par une partie qui s'éleve perpendiculairement ; celle-ci eſt percée de deux trous, dans leſquels entrent deux vis *r*, *r* ; le bout extérieur du reſſort paſſe entre cette partie du piton & la plaque *Q*, ce qui le fixe très-ſolidement avec le piton ; les vis *r* ſont aſſez diſtantes entr'elles, pour permettre au reſſort, (avant de le ſerrer), de prendre ſa ſituation naturelle ſans être bridé. Les viroles

les balanciers ne peuvent pas décrire de fort grands arcs ; car ces traverſes l'empêcheroient, ainſi que les barettes des balanciers ; ils en pourroient décrire de près de 120 degrés, mais la plus grande étendue des arcs qu'ils parcourent eſt au plus de 30 degrés.

ſont ajuſtées de la même maniere, & avec les mêmes précautions : je les détaillerai ci-après. Les baſes des pitons *O*, *P* ſont fendues par deux rainures, qui permettent à ces pitons de s'écarter ou approcher du centre des balanciers ; c'eſt pour permettre au ſpiral de prendre ſa poſition naturelle, & de n'être pas contraint par les pitons ; on n'arrête ceux-ci ſur la platine, qu'après que l'on a laiſſé agir le ſpiral qui porte le piton à la diſtance & au point qui lui convient. La piece *R* eſt ce que j'appelle le *pince-ſpiral ;* c'eſt une fourchette d'acier trempé, qui tient lieu des chevilles miſes au rateau d'une montre : ce pince-ſpiral eſt rivé ſur une petite plaque de cuivre qui s'attache ſur le rateau *S* au moyen d'une vis ; le trou de cette plaque eſt aſſez grand pour permettre à cette plaque de prendre la diſtance convenable, pour qu'elle ne gêne pas le ſpiral, lorſque celui-ci eſt arrêté ; alors on ſerre la vis, & cette piece reſte fixe après le rateau *S ;* ce rateau ſe meut près du centre du balancier en décrivant la courbure du ſpiral ; c'eſt ce rateau qui ſert à régler l'Horloge ; la vis 10 ſert à fixer le rateau avec la platine *E F* ; il porte un index qui marque ſur la platine le nombre de degrés dont on l'avance ou retarde ; ces degrés ſont gravés ſur le plan *F* de la platine.

2141. Le rateau *T* porte, comme celui *S*, un pince-ſpiral ajuſté de la même maniere ; le centre de mouvement du rateau *T* eſt placé à côté de celui du balancier *H*, afin de ſuivre exactement la courbure du ſpiral *M*, & qu'en avançant ou reculant ce rateau, le ſpiral n'en ſoit pas gêné ; ce rateau ſe meut ſur le plan de la platine *E F*, & entre la *couliſſe V V*, & très-juſte, ne pouvant que tourner librement ſur lui-même ; enſorte que l'action du ſpiral ſur le pince-ſpiral ne peut faire monter ni deſcendre le plan du rateau qui reſte très-fixe : c'eſt ce rateau qui ſert à compenſer les effets du chaud & du froid ſur l'Horloge de la maniere que je vais l'expliquer.

2142. Le plan de la platine *E F* eſt prolongé de *V* en *X*. Sur le bout *X* s'élevent quatre piliers *x*, *y*, qui forment, avec les platines *X*, *Y*, une cage dans laquelle ſe meut en *z* le levier *z* 12 : entre les piliers *x*, *y* & la platine ſupérieure *Y*, eſt attaché

chée le bout *A A* de la verge à chaſſis de compenſation *A A*, *BB*, *CC*; ce bout *A A* eſt percé de deux trous, à travers deſquels paſſent deux fortes vis 15, l'endroit de ces vis qui entre dans la platine *Y*, eſt conique, ainſi que ceux des vis 16, 17, ce qui rend cette platine très-inébranlable & ſolidement arrêtée, enſorte qu'elle ne puiſſe céder à aucun effort: la verge du milieu de cuivre *a a* porte par ſon extrémité une piece *b b* prolongée juſqu'au dehors du chaſſis, ſur laquelle agit, comme on l'a vu (*Pl. XXX.*), un talon porté par le levier *z*, 12; le grand bout 12 de ce levier porte une cheville qui entre dans une rainure faite à un bout 13 du rateau de compenſation *T*: ainſi lorſque la chaleur agit ſur les verges de compenſation *A A*, *BB*, *CC*, elle dilate différemment les verges d'acier & celles de cuivre, enſorte que l'excès de dilatation du cuivre ſur l'acier fait remonter la partie *b b* de la verge de cuivre du milieu vers *z*; & ce bout agiſſant ſur le talon du levier, il fait parcourir un grand arc à l'extrémité 12; & celui-ci agiſſant ſur le rateau de compenſation, ce rateau avance & rétrograde ſelon l'action du chaud & du froid ſur les verges. Nous expliquerons dans le Chapitre ſuivant comment nous ſommes parvenus à trouver les dimenſions des verges & leviers de compenſation, pour que l'action du chaud & du froid ſur ces verges compenſe celle qu'elle produit ſur les ſpiraux & les balanciers.

2143. Le reſſort *Z* preſſe contre le centre du rateau de compenſation, afin que le talon du levier agiſſe continuellement contre la partie *b b* de la verge de cuivre *a a*.

2144. *D D*, *E E* ſont deux ponts qui ſervent à élever le bout *B B* des verges à la même hauteur, au-deſſus de la platine, que les piliers *x*, *y* élevent le bout *A A*; ces ponts ſervent auſſi à empêcher que cette verge ne puiſſe s'élever plus haut, ni s'écarter de côté ou d'autre, en ſuppoſant que l'Horloge fût agitée.

PLANCHE XXXII.

2145. LA fig. 1 repréſente le plan de la platine ou chaſſis inférieur des balanciers, lorſqu'on a ôté les balanciers & la platine de deſſus. *ABCD* eſt ce chaſſis; *a*, *b* ſont les trous dans leſquels entrent les axes des balanciers; les balanciers ſont ponctués en *E* & *F*, pour marquer leurs projections ſur ce plan; *G*, *H* ſont les roues d'engrenage projettées, comme les balanciers; *I L c d e f* eſt le premier chaſſis d'acier, ou verge de compenſation; le bout *I* de ce chaſſis eſt arrêté, comme je l'ai dit, par les vis 1, 2, qui entrent dans les piliers formés ſur le plan ou platine prolongée *M*; ce chaſſis eſt retenu entre ces piliers & la platine *N* par la preſſion de ces vis; le chaſſis *I c d e L f* eſt d'acier, & d'une ſeule piece; il paſſe entre les ponts 3, 4 vus en perſpective (*fig.* 2); ce chaſſis ne peut monter ni deſcendre, ni s'écarter, mais ſeulement ſe mouvoir ſelon ſa longueur; & comme ce chaſſis eſt fixé en 1, 2, l'action de la chaleur le fera alonger en éloignant les points *I* & *L*; *g h* & *i l* ſont deux verges de cuivre de même longueur, dont les bouts *h*, *l* poſent ſur le bout *e f* du chaſſis; ainſi la chaleur aura auſſi fait écarter les extrémités *h*, *l* des verges de cuivre du point *L*; mais comme le cuivre s'alonge plus que l'acier dans le rapport de 121 à 74, on voit que les bouts *i*, *g* ſe feront au contraire approchés de *I*: *m m n n* eſt un ſecond chaſſis d'acier qui porte deux talons formés par un levier mobile en 5 ſous la fourchette *O*; ces talons poſent ſur les bouts *g*, *i* des verges de cuivre: ce chaſſis eſt donc remonté par l'excès de dilatation de ces verges: ce chaſſis ſe dilate auſſi; mais comme il porte deux verges de cuivre correſpondantes *o p*, *o p*, dont les bouts *p p* poſent ſur le bas du chaſſis *n n*, & que ces verges de cuivre s'alongent dans un plus grand raport; les bouts *o*, *o* ſe rapprochent plus de *L*, que ceux *n n* ne s'en ſont écartés; enfin les bouts *o*, *o* des verges de cuivre agiſſent ſur les talons du troiſieme chaſſis d'acier, *q q r r*; le bout *r r* de ce chaſſis reçoit la verge de cuivre *S t*, dont la dilatation étant plus

grande que celle du troiſieme chaſſis, remonte & s'approche plus de *N*; ainſi le point *t* eſt remonté devers *N* de tout l'excès de la dilatation des verges de cuivre ſur la dilatation de celles d'acier.

2146. La piece *O* eſt une fourchette de cuivre vue en perſpective (*fig.* 3) laquelle s'attache ſur la verge de cuivre *S*, afin de tranſporter le mouvement des verges juſqu'au dehors du chaſſis, pour agir ſur le talon *u* du levier de compenſation *u P* mobile en *x*; ce levier eſt vu (*fig.* 4); il porte en *P* une fente pour y faire mouvoir à couliſſe la broche 6, que l'on fixe au point convenable, au moyen de l'écrou 7; cette broche du levier entre dans une fente faite au bras *Q* du rateau *R* de compenſation.

2147. Les rateaux *R* & *S* ſe meuvent hors du centre des balanciers, comme on le voit par la fig. 1; les trous des rateaux roulent ſur des canons faits aux ponts *T*, *V*; *T* (*fig.* 8) repréſente un de ces ponts vu en perſpective; le rateau *R* ſe meut juſte & librement ſur la platine, & entre la couliſſe *X* qui eſt graduée en degrés du cercle; le rateau *R* eſt vu en perſpective (*fig.* 5); le talon *y* qu'il porte, ſert à faire appuyer deſſus le petit levier mobile *z* (*fig.* 1), ſur lequel agit le reſſort *Y*; je n'ai pas fait agir immédiatement le reſſort ſur le bras *y* du rateau, afin de rendre ſon action plus égale; le reſſort eſt très-fort, & agit ſur le petit bras du levier *z*; ainſi pendant que *y* parcourt un grand eſpace, le reſſort qui agit ſur un levier quatre fois plus petit, en parcourt quatre fois moins, il change donc infiniment peu de force; cette action du reſſort doit être aſſez grande à cauſe des frottements du rateau, & de la juſteſſe qu'il exige dans ſa couliſſe; & comme le levier *x* P eſt environ 17 fois plus long que celui *x u*, on voit que ſi cette action du reſſort eſt de demi-livre au point 6, elle eſt 17 fois plus grande en *u*; par conſéquent l'action qui produit la dilatation ſur les verges auroit à vaincre un effort de 8 liv. $\frac{1}{2}$. C'eſt pour réſiſter à cet effort du levier que j'ai ajouté les vis 8, 9, afin d'éviter la flexion des platines; & j'ai rendu les bouts des chaſſis très-larges pour éviter toute flexion.

2148. La fig. 6 repréſente un des bouts *m m*, ou *q q* des chaſſis d'acier; *A* & *B* ſont deux fortes plaques d'acier rivées ſur l'extrémité des verges d'acier; elles ſervent à arrêter au centre *a* le levier *C*, dont les extrémités vont poſer ſur les bouts des verges *g*, *i*, ou *o*, *o* de cuivre; c'eſt pour faire agir également l'effort ſur ces verges, que je l'ai rendu mobile, au lieu de réſerver ſimplement des talons à ces verges, ce qui auroit été plus ſimple; mais on n'auroit jamais été aſſuré que les verges de cuivre correſpondantes euſſent également agi pour remonter ce chaſſis, & vaincre la preſſion du rateau de compenſation.

2149. Les traverſes 10 & 11 attachées ſur les verges de compenſation, ſont des brides pour retenir les verges enſemble de bas en haut, & de haut en bas; ainſi toutes ces verges doivent ſimplement ſe mouvoir librement, & ſelon leur longueur.

2150. Les pieces 12 & 13 (*fig.* 1) ſont les pitons des ſpiraux vus en plan.

2151. *W* (*fig.* 9) repréſente le pince-ſpiral vu en perſpective: *a* eſt la virole qui attache le pince-ſpiral avec le rateau, & *b* eſt la vis.

2152. La couliſſe *X* eſt vue en perſpective (*fig.* 10); elle eſt formée de deux pieces; l'une *c d* eſt d'acier, & un peu plus épaiſſe que le rateau; & l'autre *e f* eſt de cuivre, & plus mince, & aſſez large pour recouvrir le rateau.

2153. *A* (*fig.* 7) repréſente une des agathes percées pour y laiſſer rouler les pivots inférieurs des balanciers; ces agathes ſont coniques en dehors; elles entrent dans des trous de même figure faits aux centres *a* & *b* (*fig.* 1) des balanciers; elles ſe placent dans l'épaiſſeur de la platine, après laquelle elles ſont retenues par deſſous au moyen d'un coqueret *B*; le ſommet du cône vient à fleur du plan ſupérieur de la platine.

PLANCHE XXXIII.

2154. La fig. 1 repréſente un des ponts de ſuſpenſion

d'un balancier avec le reſſort de ſuſpenſion, & l'axe tout monté, comme il eſt dans la cage, à l'exception du balancier, du ſpiral, & de la roue d'engrenage que l'on a ôtée pour mieux faire voir tous les ajuſtements de cet axe, de la ſuſpenſion & de la virole du ſpiral.

2155. *AA* eſt le pont, dont la traverſe eſt percée dans le milieu pour y ajuſter la broche *B* vue développée (*fig.* 2); elle eſt rendue fixe avec la traverſe au moyen du coqueret *a*: *C*, eſt le reſſort de ſuſpenſion, vu ſéparément (*fig.* 2); à chaque bout de ce reſſort ſont rivées très-ſolidement deux plaques de cuivre; ces plaques & le reſſort ſont percés de chacun 3 trous, dans leſquels ſont rivées 3 chevilles d'acier; l'extrémité des plaques de cuivre eſt percée d'un trou qui ſert à l'aſſembler par une goupille avec la broche *B*, dont la fente ſert à y loger très-juſte l'épaiſſeur des plaques; le bout inférieur du reſſort s'ajuſte avec la broche *D*, de la même maniere que celle ſupérieure avec la broche *B*; la broche *D* eſt rendue fixe après la plaque *E*, au moyen de deux chevilles qui traverſent l'aſſiette de la broche & la plaque *E*; le trou de cette plaque qui reçoit la broche, doit être parfaitement concentrique avec l'axe du balancier, & la broche *B* doit être de même placée parfaitement dans l'axe prolongé du balancier; c'eſt-à-dire, qu'il faut que les trous des pivots & ceux des broches ſoient exactement dans la même ligne, ſans quoi la peſanteur du balancier ſe porteroit contre les côtés des trous des pivots, & cauſeroit un frottement, & qu'en ſuppoſant ces balanciers mis bien horizontalement, toute leur peſanteur ne ſeroit pas ſupportée par le reſſort de ſuſpenſion, mais en partie par les pivots, ce qui ſeroit un très-grand défaut, d'ailleurs facile à éviter.

2156. La plaque *E* (*fig.* 1) eſt aſſemblée avec l'aſſiette *F* fixée à l'axe, au moyen des deux vis 1, 2 diamétralement oppoſées; c'eſt par cet ajuſtement que toute la maſſe du balancier eſt ſupportée par le reſſort; le pivot ſupérieur *b* entre dans le trou de la traverſe *G* (*fig.* 3); cette traverſe eſt attachée avec deux vis à la platine ſupérieure, dont *A* repréſente une portion: lorſque les balanciers font leurs vibrations, les vis 1, 2

(*fig.* 1) ſe meuvent autour de la traverſe (*fig.* 3), & le pivot ſert ſimplement à empêcher que l'axe du balancier ne s'écarte de la direction *a b c* (*fig.* 1).

2157. *H* eſt l'aſſiette qui ſert à fixer la roue d'engrenage des balanciers; cette roue eſt rendue fixe après l'aſſiette au moyen de deux vis, afin de pouvoir la démonter; mais pour cela il eſt néceſſaire que l'aſſiette & le canon *F* ſe démontent facilement de deſſus l'axe; c'eſt pour parvenir à ce but que ce canon *F* s'ajuſte ſimplement à frottement, & qu'il eſt retenu par une goupille *d* qui le traverſe en même-temps que l'axe.

2158. L'aſſiette *I* ſert à fixer le balancier au moyen de deux vis, afin de pouvoir le démonter; alors on ôte la virole de ſpiral *K L M N*, vue développée (*fig.* 4); cette virole eſt formée de quatre pieces: la premiere *L* eſt le canon, lequel eſt fendu pour entrer à force ſur la partie *L* de l'axe, vu (*fig.* 5) & produire le frottement; elle s'arrête avec une vis qui la preſſe contre le creux fait en *m* (*fig.* 4) à la ſeconde piece; le bout inférieur *n* ſert à maintenir cette piece ſur l'axe, & ſans changer de direction; la troiſieme piece *K* ſert à preſſer le reſſort ſpiral contre la piece *M*, & à le fixer très-ſolidement au moyen de deux vis 3,4; la quatrieme piece *N* (*fig.* 1) eſt fixée après celle *M* en *o* (*fig.* 4) au moyen de deux vis; c'eſt ce bras *N* (*fig.* 1) qui ſert à faire tourner la virole de ſpiral *K L M*, & à amener le ſpiral au point convenable pour l'échappement.

2159. La fig. 5 repréſente l'axe du balancier démonté pour faire voir les ajuſtements des pivots: le canon *F* eſt percé d'un trou bien fait, & de groſſeur convenable pour entrer très-juſte ſur l'extrémité *e* de l'axe, lequel entre juſqu'au milieu de ce canon; ils ſont rendus fixes, comme j'ai dit, par la cheville *d*; ſur l'autre partie du trou entre à frottement le pivot *b* chaſſé aſſez à force pour y tenir très-ſolidement, & de maniere cependant à pouvoir l'ôter pour en changer au cas qu'il ne fût pas de bon acier, ou qu'il vînt à caſſer.

2160. Le canon *O* eſt percé de même que *F*, d'un trou bien fait dans toute ſa longueur; la partie ſupérieure de ce canon entre à force ſur le bout *f* de l'axe, & l'autre partie du

trou ſert à y chaſſer à force le pivot inférieur *c*.

2161. La fig. 6 repréſente la barrette *G* de la fig. 3, vue de profil, & avec l'ajuſtement de l'agathe ; *G* eſt la barrette ; *a*, l'agathe : celle-ci entre dans le trou conique fait au milieu de la barrette ; & *b* eſt le pont qui fixe l'agathe avec la barrette *G*.

2162. La fig. 7 repréſente le calibre du mouvement de l'Horloge : je n'entrerai pas dans le détail de ce mouvement vu de profil (*fig.* 8) ; il eſt à ſecondes, & le moteur eſt un reſſort corrigé par une fuſée, avec la même diſpoſition qu'une montre ; la diſpoſition des ſecondes eſt ſemblable à celle de la pendule décrite Chap. III, & l'échappement & la roue ſont vus (*fig.* 9) : *A* eſt la roue d'échappement, les dents s'élevent perpendiculairement au plan de la roue ; j'ai donné cette diſpoſition à la roue pour faciliter les grands arcs ; l'ancre d'échappement *B* eſt pareil à celui iſochrone décrit (art. 1324) & ſuivants ; la fourchette *C* eſt mobile en *D*, pour mettre la piece dans ſon échappement au moyen de la vis de rappel *a* : cette diſpoſition eſt décrite Part. I, Chap. III, (78).

2163. La tige *E* (*fig.* 9) qui communique avec la roue d'engrenage des balanciers, pour entretenir le mouvement du régulateur, ſe meut en couliſſe le long de la fourchette *C* ſur la rainure *b* ; c'eſt pour faire décrire de plus grands ou petits arcs aux balanciers, ſelon qu'elle agit plus près ou plus loin du centre du balancier.

2164. *F* (*fig.* 9) eſt un rouleau d'acier dont le trou eſt formé par un canon de cuivre qui entre juſte ſur la tige *E* ; ce rouleau ſert à réduire le frottement qui ſe feroit ſur la fente de la roue d'engrenage ; la petite virole *c* eſt arrêtée après la tige par une goupille pour retenir le rouleau ; l'écrou *d* ſert à fixer la tige au point convenable ſur la fourchette ; la fourchette *C* eſt vue de profil (*fig.* 8) ; la tige d'échappement *a b* ſe trouve placée devant la tige de la roue d'échappement *A* ; la fourchette *C* & le rouleau *F* devroient être dirigés ſelon la même direction de ces tiges ; mais cette fourchette eſt vue, comme ſi on l'avoit fait tourner en avant d'un quart de tour ; c'eſt pour la faire voir de profil, car autrement on ne l'auroit pu diſtin-

guer, puiſqu'elle ſeroit vue ſelon ſa longueur derriere l'aſſiette *b*; *B* eſt le coq de la tige d'échappement; il a cette longueur, afin de faire deſcendre le rouleau pour aller agir ſur la roue d'engrenage du balancier: j'ai déja dit que ce pont & le rouleau paſſent dans l'ouverture faite à la platine ſupérieure de la cage des balanciers; une partie de cette ouverture eſt repréſentée en *G* (*fig.* 3); *f*, *g*, *e*, (*fig.* 8) repréſente la détente qui ſert à faire marcher l'Horloge pendant qu'on la remonte: cette détente eſt vue de profil; je ne l'ai pas décrite ici, pour ne pas répéter ce que j'en ai dit (71) Part. I, & (2042) Part. II. Le reſte du mouvement n'a rien de particulier qui exige de s'y arrêter; ces différentes parties ſont déja traitées ci-devant.

CHAPITRE XLIII.

Détail de main d'œuvre, Calcul & Expériences concernant l'Horloge Marine.

Des Reſſorts ſpiraux des Balanciers.

2165. AYANT plié en ſpiral une lame d'acier bien battue à froid, & appliqué ce ſpiral au balancier avant de le tremper; le balancier ſuſpendu par ſon reſſort de la maniere que je viens de l'expliquer, & les pivots roulant dans les trous des agathes, a fait 141 vibrations en deux minutes; le ſpiral étoit arrêté par ſes deux extrémités: ayant fait tremper ce reſſort, je l'ai laiſſé de toute ſa dureté, je l'ai appliqué ſur le balancier, & arrêté exactement au même point où il étoit avant de le tremper; il a fait faire 136 vibrations au balancier en 2 minutes; c'eſt-à-dire, qu'il paroît par cette expérience que l'acier trempé a moins de force que lorſqu'il eſt battu à froid; mais ce changement de force doit être cauſé par le changement

ment de courbure du ſpiral par la trempe ; j'ai fait revenir le ſpiral en l'échauffant, juſqu'à ce qu'il fût bleu ; appliqué au balancier, celui-ci a fait 138 vibrations en 2 minutes.

2166. Le reſſort ſpiral dont je viens de parler étant trop fort, j'en ai fait exécuter un autre, dont la lame a 22 pouces de longueur, 7 lig. $\frac{9}{12}$ de largeur, & $\frac{1}{12}$ de ligne d'épaiſſeur, l'acier bien battu à froid ; cette lame étant calibrée & polie, je l'ai pliée en ſpirale, faiſant quatre tours. Pour la plier je me ſuis ſervi de gros arbres de faiſeurs de reſſorts ; j'ai enſuite ouvert les tours de lames, pour laiſſer entr'elles un intervalle égal. Pour empêcher que la trempe ne dérangeât la courbure du ſpiral, j'ai fait, à travers de deux bouts de reſſort, pluſieurs fentes qui ſont paralleles entr'elles, comme les lames du ſpiral ; ces deux bouts ou brides étant placés en croix, l'un d'un côté, & l'autre de l'autre du ſpiral, contiennent les lames du ſpiral, & l'empêchent de ſe déranger en trempant, & elles contiennent les lames du ſpiral parfaitement dans le même plan: j'ai arrêté les deux brides par un fil de fer, & fait chauffer le tout dans un fourneau à reverbere, dont ſe ſervent les faiſeurs de reſſorts ; ils poſent leurs reſſorts ſur une plaque mobile qu'ils font tourner dans le feu, afin que le reſſort prenne un égal degré de chaleur dans toute ſa longueur (1267) ; cela fait, je l'ai trempé dans l'huile, il a pris un égal degré de dureté, qui eſt parfaitement le même dans toute ſa longueur ; j'ai enſuite poli ce ſpiral avec de l'émeri & un bois mince, ayant attention à ſupporter l'endroit ſur lequel j'appuiois pour ne pas caſſer le reſſort.

2167. J'ai fait revenir le reſſort, en le poſant ſur une plaque de fer miſe ſur du charbon ; en retournant le reſſort de côté & d'autre, il a pris une couleur bleue fort égale.

2168. Je ne crois pas qu'il ſoit inutile d'entrer dans ces détails de pratique, puiſque c'eſt par de pareilles opérations que l'on parvient à la perfection ; car, par rapport à ce ſpiral, ſa perfection eſt très-eſſentielle pour la juſteſſe de l'Horloge, & on ne ſeroit jamais parvenu à plier un reſſort trempé, en lui donnant une courbure ſpirale. Les faiſeurs de reſſorts ne

parviennent à plier leurs reſſorts au centre, qu'en les rendant fort mous, & d'ailleurs le degré de dureté qu'ils donnent à leurs reſſorts, eſt fort au-deſſous de celui que j'ai donné aux ſpiraux de balancier; je les aurois même laiſſés de toute leur dureté, ſi je n'avois craint qu'en nettoyant la machine, quelque mal-à-droit ne les eût caſſés, car ces reſſorts ont très-peu de mouvement, pour pouvoir caſſer ſeuls en vibrant; enfin j'ai obſervé à différentes repriſes qu'un reſſort étant revenu d'un bleu très-vif, a plus d'élaſticité.

Des Agathes dans leſquels roulent les Pivots de Balanciers.

2169. J'ai fait percer par un Lapidaire des agathes ſardoines; enſuite j'ai poli les trous avec une attention extrême. Pour cet effet, j'ai commencé par les bien dreſſer, en faiſant rouler un petit arbre liſſe dans le trou, avec de l'émeri; lorſqu'ils ont été parfaitement adoucis, j'ai tourné les pierres avec une pointe de diamant, afin de la rendre bien ronde pour ne pas changer le centre du balancier, & conique pour qu'elle ſoit retenue par le trou fait à la platine; j'ai enfin poli les trous de ces agathes, en faiſant rouler une broche d'étain preſque cylindrique, c'eſt-à-dire, de la figure de l'arbre liſſe qui a formé le trou, & je mettois du tripoli ſur la broche d'étain: je ſuis ainſi parvenu à polir parfaitement ces trous.

2170. Les agathes ainſi diſpoſées, & ajuſtées comme nous avons dit ci-devant, & les pivots des balanciers terminés avec beaucoup de ſoin, j'ai mis en place un balancier, avec ſa ſuſpenſion & le reſſort ſpiral; dans cet état, les vibrations du balancier qui ſont d'une ſeconde, ſe font très-librement; car ayant fait décrire des arcs de 30 degrés, le balancier libre s'eſt mu pendant plus de 30 minutes.

2171. J'ai terminé le régulateur de mon Horloge marine, compoſé de deux balanciers parfaitement de même grandeur, poids, &c, portant l'un une roue dentée de cuivre, & l'autre une d'acier, toutes deux de même diametre (4 pouces) & fendue ſur 150: l'engrenage eſt très-bien fait,

les pivots roulant dans des agathes ; ces balanciers ſuſpendus par deux reſſorts ſemblables, & ayant chacun un ſpiral fait, comme je l'ai expliqué ; enfin tout ce qui concerne le régulateur, terminé avec des ſoins extrêmes, les balanciers d'équilibre, &c. Dans cet état, j'ai mis les deux balanciers dans la cage avec leurs ſuſpenſions, mais ſans reſſorts ſpiraux, afin de voir ſi des mouvements de rotation quelconque, donnés à la machine, pourroient les faire mouvoir : je l'ai donc agitée avec beaucoup de force, en faiſant tourner la cage ſur elle-même ; mais les balanciers ſont toujours reſtés immobiles : j'ai enſuite mis ſéparément chaque balancier avec ſon ſpiral, afin de le régler, de maniere que ſes vibrations ſoient d'une ſeconde, & qu'étant adaptés enſemble, ils faſſent leurs vibrations, comme s'ils les faiſoient ſeuls & librement : ayant ainſi réglé chaque balancier, je les ai remontés tous deux, & les ai mis en mouvement ; leurs vibrations ſont d'une ſeconde, & ils ſe meuvent auſſi librement qu'ils le faiſoient ſéparément, ce qui prouve que l'engrenage ne cauſe aucun frottement ; en cet état, j'ai fortement agité la machine, & n'ai point apperçu de changement dans les vibrations du régulateur.

2172. Nous obſerverons ici qu'il faut avoir attention lorſqu'on remonte les balanciers, à mettre les reſſorts ſpiraux dans leur repos, c'eſt-à-dire, que les balanciers étant arrêtés, les reſſorts ſpiraux ne ſoient point tendus, car cet état forcé des reſſorts ôte la liberté des vibrations. Pour éviter ces défauts, lorſque les balanciers ſont remontés, j'ôte les vis qui arrêtent les pitons, & lorſque les balanciers ont la direction requiſe pour que l'entaille de la fourchette ſe préſente convenablement, je tourne les viroles de ſpiral juſqu'à ce que ces pitons s'arrêtent librement ſur les trous des vis qui ſervent à les fixer : en cet état on attache les vis, & on fixe les pitons. Cette obſervation doit ſervir particuliérement lorſqu'on exécute une telle machine ; car dès qu'elle eſt terminée, on n'a jamais beſoin de déranger les reſſorts ; il n'eſt beſoin que de mettre les balanciers aux repaires qui doivent être marqués ſur leurs roues d'engrenages.

2173. J'ai donné assez de jeu à l'engrenage des balanciers, pour que la poussiere qui pourroit s'attacher aux dents, ne puisse pas en gêner le mouvement.

De l'Echappement.

2174. J'AI appliqué le rouage de l'Horloge à la machine entiérement finie; il est construit, comme on l'a vu, ayant une fourchette mobile à rouleau pour entretenir le mouvement du régulateur; & pour éprouver l'effet de l'échappement sur le régulateur, j'ai adapté une poulie sur laquelle la corde de la fusée passe; cette corde portoit un poids pour agir en place du ressort; ainsi en augmentant & diminuant les poids, j'ai noté les changements qu'ils ont produits dans la marche de l'Horloge, ce qui m'a donné lieu à faire un échappement qui pût rendre les oscillations du régulateur isochrones, malgré l'inégalité de la force motrice.

I. EXPÉRIENCE.

2175. A 9 heures 57 min. j'ai mis un poids de 3 livres: le balancier décrit des arcs de 8 degrés, l'échappement est à repos. En 2 heures l'Horloge a avancé d'une seconde.

II. EXPÉRIENCE.

2176. A 11 heures 47 min. j'ai ajouté un poids de 6 livres: la force motrice est donc de 9 livres, ou triple de ce qu'elle étoit dans la premiere expérience; les balanciers décrivent 20 degrés. En deux heures l'Horloge a retardé de 6 secondes.

2177. On trouve donc encore par cette expérience que l'échappement à repos ne corrige pas les inégalités de la force motrice; car en triplant la force, elle retarde de 3 secondes par heure, tandis qu'avec trois fois moins de force elle avançoit de demi-seconde par heure; ce qui produit une différence de 84 secondes en 24 heures.

III. EXPÉRIENCE.

2178. J'ai adapté un échappement à recul, dont le recul eſt un tiers du chemin de la roue.

A 4 heures 31 min. mis un poids de 4 livres, les balanciers décrivent 15 degrés.

En une heure l'Horloge a été conſtamment avec la *Pendule*.

Ajouté un poids de 8 livres.

En une heure l'Horloge a avancé de 6 ſecondes.

2179. J'ai refait un ancre qui a fort peu de levée, afin d'augmenter l'arc de ſupplément, & d'éviter que des ſecouſſes ſubites puiſſent arrêter la machine. Le recul de cet ancre eſt un $\frac{1}{6}$ du chemin de la roue par chaque vibration.

A 11 heures 50 min. le poids moteur, 3 livres.

Arc de levée 7 deg. $\frac{1}{2}$; arc de vibration 9 degrés.

En une heure a retardé d'une ſeconde.

Ajouté un poids de 6 livres (force motrice 9 livres).

En une heure a retardé de $\frac{1}{2}$ ſeconde.

Force motrice étant de 6 livres, l'Horloge a retardé d'une ſeconde par heure.

Remarque ſur cet Échappement.

2180. L'ancre dont nous venons de parler remplit auſſi bien qu'il eſt poſſible ce qu'on en exige; car la durée de la vibration n'a pas changé ſenſiblement en doublant la force motrice. Or les changements de la force motrice ne peuvent jamais être ſi conſidérables, puiſque le reſſort ne peut pas perdre la moitié de ſa force; d'ailleurs il ne la perd que dans un temps très-long: nous pouvons donc conclure que les oſcillations des balanciers ſeront ſenſiblement iſochrones, malgré la petite inégalité qui ſurviendra dans la force motrice par l'épaiſſiſſement des huiles, & l'affoibliſſement du reſſort dont l'action eſt d'ailleurs rendue égale par la fuſée.

2181. Lorſque le rouleau de la fourchette eſt à égale

diſtance de ſon centre, & de celui du balancier, celui-ci décrit 20 deg. étant mu par le reſſort moteur. Nous avons examiné ſi, en éloignant le rouleau du centre de la fourchette, & laiſſant la même force motrice, cela pouvoit changer l'étendue des arcs.

L'arc de levée étoit alors de 13 deg. & les balanciers décrivent 30 deg. paſſés. Il eſt donc préférable de laiſſer agir le rouleau en ce point, puiſque la force motrice étant la même, elle communique avec le même échappement une plus grande quantité de mouvement ; cela vient de ce que l'échappement, dans le ſecond cas, parcourt un plus petit eſpace, & éprouve par là moins de frottement, quoique preſſé par la même force.

Des Verges de Compenſation pour corriger les effets du chaud & du froid ſur l'Horloge.

2182. Lorſque j'eus terminé le régulateur & le rouage de l'Horloge marine, & exécuté les rateaux & pinces ſpiraux, je fis ſubir à cette machine diverſes épreuves du froid au chaud, afin de conclure les dimenſions des verges & du levier de compenſation. Nous allons rapporter ces épreuves très-eſſentielles pour parvenir à la compoſition de cette partie de l'Horloge.

EXPÉRIENCE.

2183. L'air extérieur étant à 1 deg. $\frac{1}{2}$ au deſſous de la glace, & la couliſſe & le pince-ſpiral de compenſation étant mis en place, j'ai expoſé l'Horloge au froid avec un thermometre placé dans la boîte de l'Horloge, afin qu'il m'indiquât la température qu'elle éprouvoit.

Le thermometre étant à 0, j'ai mis l'Horloge à l'heure de ma pendule aſtronomique (la couliſſe étoit arrêtée à 3 deg.)

En une heure l'Horloge a avancé de 8 ſecondes.

Je plaçai l'Horloge & le therm. dans une eſpece d'étuve.

Le thermometre étant à 27 deg. l'Horloge a retardé de 7 ſecondes.

2184. C'eſt-à-dire, que l'Horloge étant d'abord expoſée au froid de la glace pendant une heure, & enſuite pendant le même temps à la température de 27 deg. au-deſſus, la chaleur l'a fait retarder de 15 ſecondes par heure; ceci ſervira à nous donner à-peu-près le chemin que doit faire le rateau de compenſation pour corriger cet écart; ce que j'ai trouvé de la maniere ſuivante. J'ai réglé l'Horloge dans une température conſtante, afin d'eſtimer le chemin que doit faire le rateau; enſuite j'ai fait mouvoir ce rateau en avant & en arriere, juſqu'à ce que j'aie fait avancer & retarder l'Horloge de 15 ſecondes par heure.

2185. J'ai trouvé qu'en faiſant parcourir 17 deg. au rateau, cela donnoit l'écart en queſtion, ce qui répond à 4 lignes de mouvement du pince-ſpiral. C'eſt d'après cela qu'il faut trouver les dimenſions des verges & leviers de compenſation; mais il faut trouver premiérement l'excès d'alongement des verges de cuivre ſur celles d'acier, puiſque c'eſt cet excès qui doit produire le mouvement du levier, & conſéquemment du pince-ſpiral, pour compenſer les effets du chaud & du froid.

2186. Je fis d'abord trois verges (*a*) de cuivre & autant d'acier, placées à côté les unes des autres; ce qui formoit en tout 6 branches arrangées avec des talons comme la verge de pendule décrite (1759). Quoique ces verges ne ſoient pas celles que nous avons employées, nous croyons à propos d'en rendre compte, puiſque c'eſt aux épreuves auxquelles elles ont donné lieu, que nous devons la diſpoſition actuelle de cette partie de l'Horloge.

(*a*) Je fis ces verges auſſi longues qu'il fût poſſible; & j'en augmentai le nombre juſqu'à 6, afin qu'elles ne puſſent pas être affaiſſées par la preſſion du reſſort qui agit ſur le rateau de compenſation: j'évitai de les faire trop fortes, afin que l'action du chaud & du froid agît ſenſiblement dans le même inſtant & avec le même effet ſur ces verges & ſur les ſpiraux. Je les ai donc faites minces, longues & en plus grand nombre pour éviter ces deux défauts eſſentiels; l'un d'être affaiſſées par la preſſion du reſſort, & l'autre de n'éprouver pas dans le même inſtant la différence de température.

Dimenſion des anciennes Verges.

2187. Deux verges d'acier de 18 pouces chacune, font . . . . . 36 pouces
Une de 13

Pouces. 49

Deux verges de cuivre de 18 chacune. . . 36
Une de. 13

Pouces 49

Trouvons donc l'excès d'alongement des verges de cuivre ſur celles d'acier.

2188. Pour cet effet il faut réduire ces verges en lignes, on aura 49 pouces = 588 lignes. Or nous avons trouvé par nos expériences qu'une verge d'acier qui a 461 lig. (1691 & 1699) s'alonge de lig. o $\frac{74}{360}$, lorſqu'elle éprouve un changement de 27 deg. de température: on fera donc la proportion ;

461 : 74 :: 588 : $x = \frac{94}{360}$.

On trouve donc que 588 lig. d'acier doivent s'alonger de lig. o $\frac{94}{360}$ en 27 degrés.

2189. On fera pour les verges de cuivre la proportion ſuivante, fondée ſur ce qu'une verge de cuivre de 461 lig. s'alonge de $\frac{121}{360}$ en 27 degrés.

461 : 121 : 588 : $x = \frac{154}{360}$.

588 lignes de cuivre s'alongent donc de lig. o $\frac{154}{360}$. Or lig. $\frac{154}{360}$ ſurpaſſe lig. o $\frac{94}{360}$ de $\frac{60}{360} = \frac{1}{6}$ de ligne ; c'eſt-à-dire, que 27 degrés de température produiſent un excès d'un $\frac{1}{6}$ de ligne, dont la dilatation ou contraction du cuivre ſurpaſſe celle de l'acier : il faut donc donner des dimenſions au levier de compenſation qui ſoient telles que pendant que le petit levier ou talon qui appuie ſur la verge de cuivre, parcourt $\frac{1}{6}$ de ligne, le pince-ſpiral parcoure 24 fois plus de chemin.

2190. J'exécutai donc en conſéquence le levier de compenſation & les verges ; mais l'action du rateau ſur le levier

&

& ſur les verges, les faiſoit fléchir, ainſi que le pont qui ſervoit de cage au levier ; enſorte que l'effet de la dilatation & contraction des verges s'employoit uniquement à faire courber ces verges, & à faire fléchir ce pont.

2191. Pour porter cette Horloge à ſa perfection, je pris donc le parti de faire d'autres verges avec les diſpoſitions ſuivantes que je rapporte ici, telles que je les imaginai avant de les mettre en exécution.

2192. 1°, Pour éviter la flexion des verges, je les ai diſpoſées dans un chaſſis comme celles du pendule aſtronomique, afin que l'effort ſe faſſe perpendiculairement ſans tendre à faire faire reſſort aux verges comme cela arrivoit à celles que j'avois employées ; car tout l'effort étoit employé à courber les verges, & non à les mouvoir ſelon leur longueur ; par ce moyen les verges n'ont pas beſoin d'être plus fortes ; car, outre que l'effort ſe fera perpendiculairement, il ſera diviſé ſur deux verges correſpondantes, ce qui évitera & l'affaiſſement & la flexion.

2193. 2°, J'employe trois verges d'acier & autant de cuivre : il y aura donc, à cauſe des chaſſis, 12 verges ou branches à côté les unes des autres.

2194. 3°, La verge de cuivre du milieu doit avoir deux largeurs, afin que toutes les parties éprouvent le même effort.

2195. 4°, Pour être aſſuré que l'effort ſe diviſe également ſur les verges correſpondantes, j'ai placé deux leviers mobiles aux chaſſis intérieurs.

2196. 5°, Les verges de compenſation ſeront placées à plat ſur la platine, & fixées avec elle au moyen de deux fortes vis : j'éviterai par ce moyen le pont qui fléchiſſoit.

2197. 6°, Le levier de compenſation ſera mis en cage entre la platine & une petite platine qui arrête la verge de compenſation : cette cage ſera rendue fixe par 4 fortes vis, ce qui rendra inébranlable ce levier & la verge qui ne pourront fléchir ni s'écarter l'un de l'autre ; défaut eſſentiel à prévénir.

2198. 7°, La verge de cuivre du milieu portera une

fourchette arrêtée par deux vis, laquelle paſſant par-deſſus les leviers des chaſſis ira poſer hors du grand chaſſis ſur le talon du levier de compenſation.

2199. 8°, Le levier de compenſation doit être fort & ſolide, afin qu'il ne puiſſe fléchir : le talon qui appuie ſur les verges de compenſation, doit auſſi être fort, & fixé très-ſolidement.

2200. 9°, La cheville portée par l'extrémité du grand levier doit être mobile en couliſſe, & arrêtée par un écrou, afin d'augmenter ou diminuer l'effet des verges de compenſation : ainſi tout ce méchaniſme étant achevé, nous ferons éprouver à l'Horloge différents degrés de température, & nous ferons mouvoir cette cheville juſqu'à ce que l'Horloge marche uniformément pendant toutes les épreuves qu'elle ſubira.

Dimenſion actuelle des verges de compenſation.

2201. Le grand chaſſis d'acier . . . 2 pieds, 0 pouces, 6 lignes
Deuxieme chaſſis d'acier 1 11 6
Troiſieme chaſſis d'acier 1 10 9

5 2 9

2202. Verges de cuivre.
Premiere . . . . . 1 pieds, 11 pouces, 10 lignes.
Seconde 1 10 11
Troiſieme 2

5 2 9

Largeur des verges, 5 lignes ; Épaiſſeur, 4 lignes.

2203. Il faut trouver l'excès d'extenſion des verges de cuivre ſur celles d'acier, afin de déterminer les dimenſions du levier de compenſation, en employant la même méthode des articles (2188 & 2189).

On trouve que l'alongement de l'acier ſeroit de lig. 0 $\frac{138}{164}$ pour 27 degrés de température ; & celui de cuivre

de lig. o $\frac{111}{360}$ exposé à la même température : l'excès de dilatation du cuivre sur l'acier est donc de $\frac{84}{360}$, c'est-à-dire, fort près d'un quart de ligne. Or nous avons vu que l'Horloge éprouvant une différence de 27 degrés dans la température, le pince-spiral devroit parcourir 4 lignes pour corriger les impressions que cause cette différence : réduisant 4 lig. en 360emes, & divisant par 84, on trouve pour quotient 17 $\frac{1}{7}$, c'est-à-dire, qu'il faut que les dimensions du levier de compensation soient telles que le pince-spiral fasse 17 fois $\frac{1}{7}$ plus de chemin que le talon qui appuie sur la verge de cuivre du milieu des verges de compensation, ce qui compensera les effets du chaud & du froid. Ce talon du levier est fixé à 7 lignes du centre, & la cheville du grand levier est distante de 119 lignes, & agit à la même distance du centre du rateau que le spiral : on peut changer, comme j'ai dit, la position de cette cheville ; pour cet effet, il faut éprouver l'Horloge par différentes températures.

I. EXPÉRIENCE.

2204. L'Horloge marine étant achevée de la maniere que je viens de l'expliquer, je l'ai réglée à-peu-près dans une température moyenne : elle retardoit de 25 secondes en 24 heures, exposée à 8 degrés du thermometre. J'ai ensuite placé l'Horloge dans une étuve, dont la température étoit de 19 deg. elle a avancé d'une seconde en 7 heures ; au lieu que si elle eût été à 8 deg. elle auroit retardé de 7 secondes.

REMARQUE.

2205. Cette expérience sert à prouver la bonté du méchanisme, puisque la chaleur fait actuellement avancer l'Horloge ; au lieu que sans la compensation, elle auroit retardé de 10 secondes par heure, exposée à 19 deg. de température.

II. EXPÉRIENCE.

2206. Après avoir rapproché du centre du levier de compenſation la cheville mobile, j'ai expoſé l'Horloge marine à divers degrés de température ; elle avançoit conſtamment d'une ſeconde, ſoit qu'elle ait été expoſée au froid de 4 degrés au-deſſous de la glace (le 2 Mars 1762), ſoit que l'ayant miſe dans mon cabinet, le thermometre ſoit monté à 18 degrés au-deſſus de la glace. Enfin depuis le 2 Mars juſqu'aujourd'hui 20 Juin, j'ai continué à faire marcher l'Horloge par les alternatives de froid & de chaud que nous avons eu ; elle a toujours avancé ſelon la même progreſſion d'une ſeconde par heure, c'eſt-à-dire, qu'elle a été avec une extrême juſteſſe ; car je ſuis le maître de l'empêcher d'avancer, il ne faut que toucher au rateau qui ſert à la faire avancer ou retarder ; mais il me ſuffit pour le moment actuel qu'elle marche avec uniformité. J'ai donc mis mon Horloge marine en état d'être éprouvée ſur mer ; & c'eſt ce que je me propoſe de faire moi-même, dès que les circonſtances ſeront plus favorables à de telles épreuves.

2207. Je n'ai rapporté ici que le précis des expériences que j'ai faites pour parvenir à donner à mon Horloge marine cette juſteſſe ; les détails en ſont trop grands, & feroient ſeuls un volume, & ils ſont d'ailleurs inutiles dans le cas actuel : j'ai rapporté le point où je l'ai amenée, & cela ſuffit.

I. REMARQUE.

2208. Pour ſavoir combien l'Horloge marine varieroit, ſi elle n'avoit pas de machine de compenſation, j'ai fait diverſes expériences dont le réſultat eſt que, pour 11 degrés de différence dans la température, l'Horloge avance ou retarde de 6 ſecondes par heure ; c'eſt-à-dire, que ſi on regle l'Horloge à la température de 4 degrés, & qu'on l'expoſe au chaud de 15 degrés, elle retardera de 6 ſecondes par heure, & ainſi de ſuite à proportion de la différence dans la température ;

donc pour 30 degrés de différence, l'Horloge retarderoit de 16 ſecondes $\frac{4}{11}$ par heure par la chaleur; & en 24 heures de 6 min. 32 ſecondes $\frac{8}{11}$: voilà la quantité de variation qui eſt produite par la dilatation du ſpiral & du balancier. Or notre Horloge paſſant alternativement du froid de la glace à la chaleur de 30 degrés, marche toujours uniformément par l'effet des verges & leviers de compenſation ; d'où l'on voit l'utilité de ce méchaniſme dans une Horloge où l'on a réduit infiniment les frottements des pivots & ſuſpenſions du régulateur. Si donc on parvenoit à réduire de même les frottements des pivots de balanciers des montres, alors ces machines varieroient au moins de 6 min. 32 ſecondes en 24 heures, pour 30 deg. de différence dans la température. Mais quoique les montres éprouvent fréquemment cette différence en hiver, cependant lorſqu'elles ſont diſpoſées ſelon nos principes (*II. Partie*, Chap. XXX), cela ne trouble pas ſenſiblement leur juſteſſe ; & c'eſt ce qui eſt dû à la compenſation des frottements. Loin donc de devoir chercher à réduire les frottements des pivots de balanciers des montres, on doit uniquement s'attacher à les rendre conſtants, & dans un certain rapport avec la force de mouvement du balancier: nous traiterons encore cet objet à la fin de cet ouvrage.

II. REMARQUE

Sur cette Horloge marine.

2209. Les expériences que j'ai faites avec l'Horloge marine, m'ont prouvé aſſez de juſteſſe dans ſa marche pour oſer eſpérer que cette machine pourra être utile à la navigation. Mais comme elle eſt aſſez compliquée, d'une exécution très-difficile, & par conſéquent à la portée de peu d'Artiſtes, ce qui rend néceſſairement le prix d'une telle machine trop conſidérable, & que cette ſeule raiſon ſeroit ſuffiſante pour en empêcher l'uſage ; nous allons rechercher une conſtruction qui, en nous donnant la même préciſion, rempliſſe notre double objet.

CHAPITRE XLIV.

Conſtruction d'une Horloge Marine plus ſimple que la précédente.

2210. LORSQUE je compoſai l'Horloge marine que j'ai décrite ci-devant, je n'avois pas encore trouvé les moyens d'employer un poids pour moteur, ce qui m'avoit entraîné dans une conſtruction plus compliquée ; car à cauſe de l'inégalité de force d'un tel moteur (le reſſort), & pour donner plus de puiſſance au régulateur, il eſt néceſſaire, lorſqu'on veut mettre l'Horloge en marche, de donner un mouvement de vibration aux balanciers (2097); & par une ſuite de cette combinaiſon, il a fallu adapter un ſecond balancier, afin que ſi la machine éprouve de certaines agitations, elles ne ſoient pas capables d'interrompre la marche de l'Horloge. Or depuis que j'ai exécuté cette machine, j'ai eu le temps de l'enviſager ſans prévention, & de chercher à la perfectionner ; & je l'ai examinée, comme ſi elle étoit l'ouvrage d'un autre Artiſte. Je vais donc rendre compte des moyens que je crois propres à cela, & donner le plan de cette machine.

2211. La plus grande différence dans la conſtruction conſiſtera particuliérement dans l'emploi d'un poids moteur au lieu d'un reſſort ; & comme ce poids eſt la baſe de la nouvelle Horloge que je propoſe, je commence par donner les raiſons de préférence que je donne au poids ſur le reſſort. Je donnerai enſuite l'idée du méchaniſme de ce poids, & enfin je décrirai la machine.

Des obſtacles que cauſe le reſſort employé pour moteur d'une Horloge de Mer.

2212. 1°, Un reſſort moteur eſt ſujet à caſſer par les changements qui arrivent dans la température, ſur-tout lorſque ce reſſort eſt fort. Or un tel accident ne peut être réparé ſur mer : on ne peut donc pas compter ſur une Horloge à reſſort, lorſqu'il eſt queſtion d'opérations auſſi eſſentielles.

2213. 2°, Un reſſort change de force ſelon qu'il eſt expoſé alternativement au chaud & au froid, ce qui ne peut manquer d'influer ſur l'iſochroniſme des vibrations, à moins qu'on ne ſuppoſe une perfection conſtante dans l'échappement; & c'eſt ce que l'on ne doit pas eſpérer à cauſe de la variation des frottements de l'ancre.

2214. 3°, Un reſſort perd de ſa force à meſure qu'il agit : ce changement trouble encore la juſteſſe de l'Horloge.

2215. 4°, Telle parfaite qu'on ſuppoſe la fuſée, l'action du reſſort n'égale pas celle du poids; d'ailleurs, à meſure que le reſſort ſe *rend* (*a*), la fuſée perd encore ſon égalité.

2216. 5°, Enfin il faut néceſſairement mettre de l'huile aux ſpires du reſſort pour en adoucir le frottement; mais dès que cette huile s'épaiſſit, le frottement augmente, & ſouvent au point qu'il ſuſpend toute l'énergie du reſſort.

Du poids moteur de l'Horloge Marine.

2217. Par la conſtruction de la ſuſpenſion de l'Horloge, cette machine ſera toujours ſenſiblement horizontale : ainſi ſi l'on attache à la boîte de l'Horloge un tuyau perpendiculaire, & que l'on y place le poids, celui-ci deſcendra librement; enſorte que s'il n'a pas de jeu, les agitations mêmes auxquelles pourroit être expoſée l'Horloge, n'influeront pas ſur le poids. Il n'y a que le cas où les ſecouſſes du vaiſſeau ſe feroient de bas en haut ou de haut en bas; alors le poids

(*a*) Les ouvriers diſent qu'un reſſort ſe *rend*, quand il perd de ſa force en marchant.

perdroit ou acquerroit de la force ſelon le ſens de l'agitation. Mais voici comment je prétends y remédier. Le poids ſera quarré, ainſi que le tuyau; il n'aura que le jeu convenable pour deſcendre librement : on attachera ſur deux côtés oppoſés du tuyau en dedans deux regles dentées à rochet ; ces regles formeront des eſpeces de crémaillers, dont le côté droit des dents ſera en en bas. Le poids portera deux cliquets qui appuieront ſur les dents de crémailleres, enſorte qu'à meſure que le poids deſcend, les cliquets arcbouteront alternativement contre les côtés droits des dents; & que ſi le vaiſſeau éprouvoit une ſecouſſe de bas en haut, &c, le poids ne pourroit ceſſer d'agir ſur la corde, & qu'il ne produiroit pas de contre-coup, parce que nous ſuppoſons les dents de crémailleres peu diſtantes les unes des autres, & qu'il y auroit un cliquet en priſe, tandis que l'autre gliſſeroit contre le côté incliné des dents. Enfin pour éviter encore ce petit contre-coup, je placerai au-deſſous de l'axe de la poulie du poids un très-fort reſſort qui ſuſpendra ce poids; ainſi lorſqu'une agitation du vaiſſeau de haut en bas fait ceſſer le poids d'agir ſur la corde, alors ce reſſort dont l'action eſt égale à celle du poids qui le tend, tend la corde, & continue à faire marcher l'Horloge pendant le très-petit intervalle où le poids ceſſe d'agir ; nous expliquerons ci-après ces effets du poids & du reſſort dont nous ne donnons ici qu'une notion. Cela poſé, on voit que le poids n'éprouvera que les agitations de l'Horloge même que nous avons ſuppoſé reſter ſenſiblement horizontale à cauſe de ſa ſuſpenſion; ainſi le poids ne peut avoir de contre-coups qui le faſſent ceſſer d'agir pendant un inſtant ſur la corde, & l'inſtant ſuivant avec toute la force acquiſe par ſa deſcente, comme cela arriveroit, s'il n'étoit forcé de ſuivre les mouvements du tuyau, & d'être comme fixé avec lui; n'ayant ſeulement que la faculté de deſcendre à meſure que l'Horloge marche; enfin par cette diſpoſition, le poids n'ayant pas de contre-coups ne pourra ni rompre la corde, ni la corde ſortir de la poulie. Maintenant pour remonter ce poids, on voit qu'il faut mettre les cliquets hors de priſe des dents des crémailleres;

crémailleres ; pour cet effet, on pratiquera, à côté des cliquets, une eſpece de tenaille à boucle, dont un bout agira ſur les cliquets pour les rapprocher du centre du poids ; & lorſque le poids ſera remonté, on lâchera les cliquets qui ſe remettront en priſe. Mais comme par cette diſpoſition il faudroit, à chaque fois que l'on veut remonter l'horloge, agir ſur cette tenaille pendant tout le temps que l'on remonteroit le poids, ce qui ſeroit incommode, j'ai ſuppléé à cet obſtacle, en diſpoſant la détente qui ſert à faire marcher l'horloge, pendant qu'on remonte le poids ; de ſorte qu'elle communique avec les cliquets, & qu'elle les met hors de priſe ; ainſi à meſure que la détente va à ſon repos, les cliquets reprennent leur ſituation : on ne peut pas remonter l'horloge ſans déplacer cette détente. Nous en expliquerons l'effet ci-après.

Des autres Parties de l'Horloge.

2218. La ſuſpenſion de l'horloge, telle que nous l'avons exécutée & décrite (2126), devient trop compoſée & trop coûteuſe ; c'eſt pour cette raiſon que nous employerons une ſuſpenſion à double genou, avec le reſſort à boudin, pour adoucir les cahotages.

2219. On peut ſupprimer le double balancier, en ſorte que l'horloge aura pour régulateur un ſimple balancier, auquel la force motrice ſera capable de reſtituer le mouvement, ainſi que cela ſe pratique dans les montres ; car il eſt bon d'obſerver que quoique les montres ſoient expoſées à des agitations fort grandes & irrégulieres, cependant ces agitations ne troublent point la juſteſſe des montres, lors même qu'elles ſont à ſecondes. Or ſi cela n'arrive pas dans les montres, à plus forte raiſon, dans une machine ſuſpendue de maniere à n'éprouver que de très-foibles mouvements.

2220. Pour que les changements qui arrivent dans le rouage par la coagulation des huiles, variations de frottement, &c, n'influent pas ſur la juſteſſe des oſcillations du régulateur,

on adaptera un échappement rendu iſochrone ſelon les art. (1324 & ſuiv.).

2221. Le balancier ſe mouvra verticalement ; ſon axe portera des pivots rapportés très-fins, & très-durs : ces pivots au lieu de rouler dans des trous ſe développeront ſur des gouttieres d'agathe, à-peu-près comme l'angle d'un couteau de pendule. Pour empêcher que ces pivots ne puiſſent caſſer, il faut les revêtir du deſſus & des côtés, ne laiſſant à découvert que la partie inférieure qui doit ſe développer ſur la gouttiere.

2222. Les vibrations du balancier ſeront déterminées par un reſſort ſpiral placé à l'un des bouts de l'axe, & l'ancre d'échappement à l'autre.

2223. Le balancier pourra n'avoir que ſix pouces de diametre, & être d'une livre peſant ; car je n'ai pas apperçu qu'en faiſant mouvoir librement les balanciers de l'horloge marine, ils euſſent acquis une faculté de conſerver leur vibration qui fût proportionnelle à leur peſanteur & diametre.

2224. Le balancier fera une vibration par ſeconde.

2225. Pour corriger les variations cauſées par les différentes températures, on adaptera des verges de compenſation, comme pour l'horloge décrite ci-devant, à cela près que dans celle-ci, ces verges ſeront placées verticalement, ainſi que le levier & le rateau de compenſation. Par cette diſpoſition, la peſanteur du rateau ou porte-cheville ſuffira pour lui faire ſuivre le mouvement du levier de compenſation ; ainſi on ſupprimera le reſſort qui preſſe le rateau, la couliſſe, le cliquet, & il en réſultera d'ailleurs que ce rateau roulant ſur des pivots, aura beaucoup moins de frottement, & dès-là les verges de compenſation pourront être plus minces & pénétrées dans le même temps par la température qui agit ſur le ſpiral.

2226. Les ſecondes excentriques ſont plus ſimples, & cauſent moins de frottement : on en fera donc uſage.

Deſcription de cette Horloge, vue Planche XXXIV. *fig* 1.

2227. La plaque *A* s'attache au vaiſſeau, au moyen de quatre vis 1, 2; cette plaque porte fixement la calotte *B* ſur laquelle s'attache l'autre calotte *C*: c'eſt entre ces deux calottes que roule la boule formée à l'extrémité du petit axe *D*; l'autre bout de cet axe porte une boule qui roule entre deux calottes pareilles à *B*, *C*. L'ouverture, à travers laquelle paſſe l'axe dans ces calottes, eſt aſſez grande, pour qu'il puiſſe s'incliner de côté & d'autre; ce mouvement eſt ſemblable à celui d'un genou de pied de téleſcope: j'emploie deux boules, afin de faciliter la plus grande inclinaiſon à la plaque qui repréſente ici le vaiſſeau; & ſans être obligé de trop agrandir l'ouverture de l'axe *D*, ainſi que cela devroit être, s'il n'y avoit qu'une boule & deux calottes: la calotte inférieure eſt attachée à la tige *F F*, ſur laquelle le bout *G* du reſſort à boudin *H* eſt fixé; l'autre bout de ce reſſort eſt attaché au pont à quatre branches *I K*: les pattes de ce pont ſont fixées par des vis ſur la planche quarrée *L L*: cette planche eſt le deſſus de la boîte qui contient le mouvement de l'horloge: *M M* eſt une planche qui forme le fond de la boîte dont on a ſupprimé les côtés pour laiſſer voir la machine à découvert. On voit, par cette diſpoſition, que le reſſort à boudin *H* ſoutient tout le poids de la machine par laquelle il eſt comprimé; ainſi ce reſſort s'accourcit & s'alonge ſelon les agitations du vaiſſeau duquel il adoucit les chocs.

2228. Le mouvement de l'horloge eſt compoſé de trois platines *N*, *O*, *P*, qui forment deux cages au moyen de 8 piliers: la quatrieme plaque *Q* eſt le cadran vu par derriere; celle-ci forme avec la platine des piliers *P* une troiſieme cage, entre laquelle ſont placées à l'ordinaire les roues de cadran. La cage *O P* contient les roues du mouvement que nous nous diſpenſons de décrire, parce qu'elles n'ont rien de particulier.

2229. Les platines *O*, *N* forment la cage entre laquelle ſe meut le balancier ou régulateur *O F*. L'axe du balancier porte à chaque bout un pivot fixe, dur, & revêtu, qui va ſe développer ſur les gouttieres fixées l'une à la platine des piliers *P*, & l'autre à la platine *N*.

2230. Le poids *S* eſt le moteur de l'horloge ; il deſcend entre les crémailleres *T*, *V* : ce poids porte deux plaques de cuivre *a* & *b* fixées avec lui; ces plaques portent deux entailles oppoſées, dans leſquelles paſſent les crémailleres ; le poids eſt contenu par les crémailleres qui tiennent en même temps lieu du tuyau dont nous avons parlé;ainſi cepoids deſcend librement ſans pouvoir ſe mouvoir d'aucun ſens ſéparément des crémailleres; celles-ci ſont fixées par en haut à la platine *X* ſur laquelle s'attache le mouvement, & par en bas à la planche *M M*; ſur la plaque *a* du poids ſont ajuſtés les cliquets *c* & *d* qui arcboutent contre les dents des crémailleres : les chappes *e*, *f* de la poulie *Y* ſe meuvent en couliſſe ſur les ponts *g*, *h*, attachés à la plaque *a* ; ce mouvement ſert à faciliter la compreſſion du reſſort *i* que bande le poids, & agit ſur le rouage, lorſque par un contre-coup, le poids tend à remonter, & eſt arrêté par les cliquets ; la corde *W* s'attache par un bout à la platine *X*, & par l'autre au cylindre *K* que porte la premiere roue du mouvement.

2231. Quand on veut remonter le poids, on fait agir une détente qui produit pluſieurs effets dans le même inſtant ; 1°, un bras découvre le trou du remontoir, pour pouvoir y placer la clef : 2°, un deuxieme bras va agir ſur une roue du rouage, afin que pendant tout le temps qu'on ſuſpend le poids pour le remonter, l'horloge ne diſcontinue pas de marcher : 3°, un troiſieme bras porte une cheville 3 qui paſſe en deſſous de la platine *X* pour agir ſur le bras 4 de la piece *Z Z* mobile ſur deux pivots, dont l'un roule dans la platine *X*, & l'autre dans celle *M M* ; cette piece *Z Z*, en tournant ſur elle-même par le mouvement de la détente, agit en même temps ſur les petits leviers *l*, *m*, dont les bouts op-

poſés agiſſent ſur les cliquets *c*, *d*, & les mettent hors de priſe des crémailleres, ce qui donne la facilité de remonter le poids ; car la piece *Z Z* étant également large dans toute ſa longueur, elle écarte les leviers *l*, *m*, & par conſéquent les cliquets ; & dès que le poids eſt monté au haut, l'horloge continuant à marcher, la détente, dont nous avons parlé, reprend ſon repos, ainſi que la piece *Z Z*, les leviers *l*, *m*, & les cliquets qui ſe remettent de nouveau en priſe avec les crémailleres, à meſure que le poids deſcend. Voilà en gros le méchaniſme du poids, dont nous donnerons le détail ci-après.

2232. Les verges de compenſation 5, 6, 7 ſont attachées ſur la platine *N*, au moyen de deux fortes vis 8, 9 ; la plaque 5 qui recouvre ces verges ſert en même temps de pont pour y faire mouvoir le levier de compenſation *n o*, mobile en *n*, & dont le bout *o* agit ſur un bras du pince-ſpiral *p* ; ainſi celui-ci ſe meut ſelon l'excès de dilatation des verges de cuivre ſur celles d'acier ; voyez (2142) : le pince-ſpiral ſe meut ſur deux pivots, dont l'un roule dans un trou fait à la platine *N*, & l'autre au coq *q* ; il faut que ce pince-ſpiral ne ſoit pas tout-à-fait concentrique à l'axe du balancier, mais qu'il décrive un arc qui ſe confondre avec la portion du ſpiral, afin qu'en tournant le pince-ſpiral ne contraigne pas le ſpiral.

2233. Le pince-ſpiral *p* peut tourner ſéparément & à frottement du bras *s o* fixe ſur l'axe *t* ; cet effet eſt néceſſaire pour régler l'horloge ; ſans cette précaution, cela ne pourroit ſe faire ſans alonger ou accourcir le ſpiral par ſon piton, ce qui ſeroit une opération difficile : le pince-ſpiral porte un index *r* qui marque ſur les graduations de la platine la quantite dont on l'a tourné pour faire avancer ou retarder l'horloge.

2234. Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails ſur les verges & leviers de compenſation ; ceux qui auront lu tout ce qui concerne l'horloge marine, chap. XLII & XLIII, entendront de reſte toute cette matiere.

Détail du poids, de la détente, de la ſuſpenſion de l'Horloge, & des Pivots de Balancier.

2235. La 2e. figure de la planche XXXV fait voir en perſpective la détente en action ſur la baſcule pour écarter les cliquets, lorſqu'on veut remonter le poids. *L'*axe *A B* de la détente ſe meut dans des trous faits, l'un à la plaque du cadran, & l'autre à la ſeconde platine du mouvement. Le bras *C* ſert à recouvrir le trou du remontoir, afin qu'on ne puiſſe remonter le poids ſans faire produire à la détente ſes différents effets ; le bras oppoſé *D* reçoit l'action du reſſort qui ſert à continuer le mouvement pendant qu'on ſoutient le poids : le bras *E* porte une cheville qui paſſe à travers une ouverture faite au cadran ; c'eſt ſur cette cheville que l'on agit pour faire découvrir le trou de remontoir, bander le reſſort qui agit en *D*, &c : le bras coudé *F* porte le pied de biche *a* mobile en *b*, preſſé par le reſſort *c*, & retenu par la cheville *d* ; ce pied de biche emporté par le mouvement de la détente va ſe mettre en priſe avec une roue du mouvement, & par l'action du reſſort qui preſſe le bras *D*, agit ſur le rouage pour le faire marcher, tandis qu'on monte le poids : la cheville *G* de la détente, par le mouvement produit lorſqu'on la fait tourner pour découvrir le trou, fait tourner la baſcule *H* au moyen de ſon bras en fourchette *I*. Ce mouvement de la baſcule écarte les leviers *d*, *e* mobiles en *f* & *g* ; les bouts *i* & *l* de ces leviers agiſſent ſur deux chevilles portées par les cliquets *m*, *n* ; ainſi ces cliquets ſont ramenés contre le centre du poids *K*, enſorte que ces cliquets ſont mis hors de priſe des dents de crémaillere : le reſſort *o* porte deux bouts qui agiſſent, l'un ſur le cliquet *m* & l'autre ſur *n* pour les ramener en priſe, auſſi-tôt que la détente (abandonnant la roue ſur laquelle le pied de biche agiſſoit) reprend ſon repos.

2236. Le poids *K* porte fixement les plaques de cuivre *L* & *M* ; les fentes *n*, *p*, *q* ſervent à recevoir les crémail-

leres ; la coupe des crémailleres eſt vue en *A* & *B* (*fig.* 3) ; la même fig. fait voir en plan la baſcule *H* ; les leviers *d*, *e*, & les cliquets *m*, *n* ſont attachés ſur la plaque de cuivre ſupérieure *L* ; les traits ponctués *p*, *q* marquent la place des ponts qui ſupportent les chappes de la poulie ; ces ponts ſervent à contenir les bouts extérieurs des cliquets ; les bouts intérieurs le ſont par des vis à portée qui entrent dans les ouvertures alongées des cliquets : *o*, eſt le reſſort qui ramene les cliquets.

2237. La figure 4 fait voir de profil le poids aſſemblé avec ſes ponts & chappes : *A* eſt le poids ; *B*, la plaque de cuivre inférieure qui porte les fentes oppoſées pour le faire mouvoir en couliſſe ſur les crémailleres ; *C*, la plaque ſupérieure qui ſert au même uſage, & de plus à porter les ponts, leviers & cliquets : les ponts *D* & *E* tiennent à la plaque, chacun par deux vis : les chappes *F*, *G* qui portent la poulie, ſont retenues après les ponts *D*, *E* par les vis à portée *a*, *b* ; ces chappes auxquelles tiennent les vis, peuvent monter en couliſſe, & deſcendre ſelon la hauteur des ponts ; pour cet effet les ponts portent des trous alongés (voy. fig. 1) dans leſquels paſſent les vis à portée, & deux tenons écartés des vis, pour empêcher que les chappes ne puiſſent vaciller. Le reſſort *H* tient par ſon centre à la plaque *C*, au moyen de la vis *c* ; ce reſſort appuie ſur les talons portés par les chappes *F*, *G* ; ainſi la force de ce reſſort étant proportionnée à la peſanteur du poids, on voit que ce reſſort fléchit, & que la poulie s'écarte du poids pour produire l'effet indiqué (2217).

2238. La figure 5 repréſente le pince-ſpiral ; *A* eſt l'axe ſur lequel le pince-ſpiral *B* ſe meut à frottement ; le bras *C* porte une cheville ſur laquelle agit le bout du levier de compenſation ; *D* eſt un contre-poids qui entraîne le pince-ſpiral ſelon le mouvement du levier de compenſation.

2239. Les figures 6, 7 & 8 repréſentent les détails du genou de ſuſpenſion. *A* (*fig.* 6) eſt la plaque qui s'attache au vaiſſeau ; *B*, la calotte fixée à cette plaque, & *C*, l'autre calotte qui s'aſſemble avec la premiere par trois vis : c'eſt en-

tre ces deux calottes que ſe meut la boule *D* (*fig.* 8); les entailles faites aux calottes, ſont faites pour faciliter le jeu de l'axe *E* des boules: *D*, *F*, *fig.* 8; *G*, *fig.* 7; & *H*, *fig.* 8, ſont les deux calottes qui recouvrent la boule *F*; ces calottes *G*, *H* ſe fixent après l'axe *I K* au moyen d'une forte vis: l'aſſiette *K* de cet axe ſert à y fixer le bout inférieur du reſſort à boudin, & l'autre bout de ce reſſort s'attache, comme j'ai dit, au pont qui tient à la boîte.

2240. Les figures 9, 10 & 11 repréſentent l'ajuſtement d'un pivot de l'axe de balancier, la gouttiere, &c. *A* (*fig.* 9) eſt le bout de l'axe ſur lequel le canon entre à frottement, & de ſorte que le bout de l'axe affleure au bord *b* de l'entaille; le petit canon *C* (*fig.* 11) entre à frottement dans le trou du canon *B*; l'entaille de celui-ci paſſe par le centre; le bout du canon *C* eſt auſſi entaillé juſqu'au centre, afin que le bout du cylindre ou pivot *D* qui entre dans *C*, ſoit revêtu du deſſus & des côtés, & qu'on le puiſſe faire très-petit, pour réduire le frottement autant qu'il eſt poſſible. C'eſt la partie de ce pivot qui eſt ſituée dans l'entaille *b*, qui roule ſur la gouttiere faite au couſſinet *E* (*fig.* 10); ce couſſinet ſe fixe ſur la platine; il eſt recouvert par la piece *F* percée d'un trou, à travers lequel paſſe un bout prolongé du cylindre ou pivot *D* (*fig.* 11); cette piece eſt néceſſaire pour empêcher que par de certaines ſécouſſes, le balancier ne puiſſe s'écarter des couſſinets qui le ſupportent; la pointe du pivot prolongé va poſer contre le coqueret d'acier *G*; ce coqueret, la piece *F*, & le couſſinet *E* ſont arrêtés par la même vis après la platine. Chaque bout de l'axe eſt terminé de la même maniere; ainſi le balancier ne peut que tourner ſur lui-même, ſans pouvoir s'écarter des couſſinets à cauſe des pieces *F*, ni ſe mouvoir ſelon ſa longueur à cauſe des coquerets *G*.

Remarque

Remarque ſur cette Horloge.

2241. Quoique la diſpoſition du balancier placé verticalement paroiſſe rendre la machine plus ſimple; cependant je ne crois pas encore être parvenu au but que je deſire; car les ajuſtements des pivots ſont aſſez difficiles & ſujets à des frottements. Mais on peut prendre de cette machine la diſpoſition du poids, & tout ce qui lui eſt relatif, & combiner cela avec le balancier, tel que je l'ai employé dans ma premiere horloge; faire uſage de même des verges & leviers de compenſation, enſorte qu'il réſultera du tout une machine très-ſimple, d'une facile exécution, & dont j'eſpere que la juſteſſe ſera très-grande: nous allons donner une notion de cette horloge, dont les principales parties ſont vues, (*Planche XXXV fig.* 1).

Deſcription d'une Horloge Marine à un ſeul balancier horizontal & ſuſpendu: cette Horloge eſt à poids, elle a des verges de compenſation, &c.

PLANCHE XXXV.

2242. Cette horloge vue (*fig.* 1), eſt à ſecondes d'un ſeul battement; le poids eſt diſtribué comme dans l'horloge que nous venons de décrire: l'échappement eſt à roue de rencontre; la roue de rencontre a 30 dents; ſon axe porte l'aiguille des ſecondes qui marque ſur un petit cadran excentrique: le balancier *A* eſt ſuſpendu par un reſſort *a* attaché à un pont qui ſe fixe ſur une platine qui n'eſt pas ici repréſentée, mais qu'il eſt facile de ſe figurer, puiſque la diſpoſition du balancier doit être la même que dans l'horloge décrite chap. XLII. & XLIII: le pivot ſupérieur du balancier doit rouler dans un trou fait à cette platine; & le pivot in-

férieur dans un trou fait à la platine *B B* : ces pivots ne ſont faits que pour maintenir le balancier en l'empêchant de s'écarter de la ligne *a b* ; car ſon poids eſt entiérement ſoutenu par le reſſort *a*.

2243. Le bras *C* eſt rivé ſur un canon qui roule à frottement ſur l'axe du balancier ; ce bras porte une cheville qui communique à la fourchette *D*, rivée ſur un canon qui entre à frottement ſur l'axe des palettes d'échappement *E* : ainſi la force de la roue de rencontre eſt tranſmiſe au balancier ; ce qui lui donne & entretient ſon mouvement. Les platines *G*, *H* forment la cage qui contient le rouage de mouvement ; on ne voit de ces roues que celle d'échappement *F*, & le cylindre porté par la premiere roue : ce cylindre *I* eſt entouré de la corde *K* qui ſoutient le poids moteur *L*, dont la diſpoſition eſt expliquée ci-devant (2217, 2235 & ſuiv.)

2244. La plaque *M M* eſt le derriere du cadran ; cette plaque s'attache à la platine des piliers *H* par quatre faux piliers rivés ſur la plaque du cadran : les roues de cadran ſont placées à l'ordinaire entre le cadran & la platine des piliers.

2245. Les vibrations du balancier ſont réglées par le reſſort ſpiral *N N* ; le bout intérieur eſt retenu ſur l'axe du balancier par une virole faite comme celle décrite (2158) ; le bout extérieur eſt arrêté à un piton *O O* arrangé comme celui décrit (2140).

2246. L'axe du balancier eſt fait d'une ſeule piece. Comme il n'a pas beſoin d'être fort gros, le balancier étant plus petit & léger, on peut le faire d'aſſez bon acier pour avoir des pivots qui ſoient durs.

2247. Les pivots de balanciers rouleront tout ſimplement dans des trous faits aux platines, ce qui ſera très-bon ; car le frottement des pivots peut être regardé comme nul, puiſque le balancier eſt toujours ſenſiblement horizontal : on ſupprimera par ce moyen les agathes & leur ajuſtement.

2248. Le ſpiral peut être fait comme un reſſort de montre, & auſſi élaſtique que ceux dont nous avons fait uſage, qui ont cependant coûté beaucoup de peines & de ſoins.

2249. Le pince-ſpiral ſera diſpoſé comme celui de la figure 5, décrit (2238); l'axe *b c* de ce pince-ſpiral ſera mobile au-deſſous de l'axe de balancier, entre le deſſous de la platine *B B*, & le pont *P*: le bras *Q* eſt mis en mouvement par la fourchette *R* fixée ſur l'axe *S* du levier *T*; ce levier appuie ſur la verge de cuivre prolongée du milieu du chaſſis de compenſation *V X* dont on ne voit que le bout ſupérieur.

2250. On n'a pas ici repréſenté un reſſort qui doit preſſer le pince-ſpiral, afin qu'il oblige par ſon bras *Q* le levier *T* de ſuivre le mouvement de la verge prolongée *V*, & ſuivre par-là toutes les impreſſions que produiſent le chaud & le froid ſur les verges de compenſation: il eſt d'ailleurs facile de ſe repréſenter ce reſſort.

CHAPITRE XLV.

Additions & Expériences ſur les verges de Pendule, propres à corriger les dilatations & contractions des métaux.

Expériences ſur les effets des frottements d'un échappement à repos pour changer la juſteſſe de l'Horloge.

Expérience faite avec un Pendule à chaſſis de même dimenſion que celui dont j'ai rendu compte (2008).

2251. AYANT appliqué ce pendule ſur le pyrometre, mis l'éguille à zéro, l'air extérieur étant au terme de la glace, le thermometre eſt monté à 2 degrés; l'aiguille a auſſi parcouru 2 degrés du froid; enſuite j'ai mis l'étuve, fait

chauffer avec des mottes ; le thermometre eſt monté à 34 degrés ; le pyrometre a parcouru 10 degrés du chaud ; il eſt revenu à 5 deg. où il eſt reſté aſſez conſtamment : ôté l'étuve ; le thermometre eſt revenu à 2 degrés & le pyrometre à zéro.

2252. Cette expérience prouve que la compenſation ne ſe fait pas parfaitement, & que les verges ne ſont pas aſſez longues ; d'où il ſuit, 1°, que l'on ne peut pas fixer exactement les dimenſions d'une verge de pendule, par la raiſon que les dilatations varient ſelon la nature de l'acier & du cuivre ; 2°, que pour ſuppléer à ces différences, il faut ajouter au pendule un levier de compenſation, au moyen duquel on puiſſe faire varier l'effet par une vis de rappel, & ſelon les différentes extenſions des métaux.

2253. J'ai encore trouvé un autre défaut à ce pendule ; c'eſt que ſi l'on appuie un peu fortement ſur la lentille pendant qu'elle eſt ſuſpendue ſur le pyrometre, les verges éprouvent une flexion, & que ſi on laiſſe la lentille ſans la ſoulever, l'aiguille du pyrometre ne revient pas exactement au point où elle étoit avant la preſſion ; or cet effet eſt produit par le trop de peſanteur de la lentille qui n'eſt pas proportionnelle à la force des verges. Si l'on ſouleve enſuite la lentille, & qu'on l'abandonne à ſon propre poids, l'aiguille du pyrometre ne revient pas au même point où elle étoit, c'eſt-à-dire, que le pendule change de longueur ; à la vérité, c'eſt de fort peu de choſe, mais trop pour l'exactitude que nous deſirons. Au reſte, ce défaut peut être corrigé facilement ; il ne faut que faire une lentille plus légere.

REMARQUE.

2254. Il ſuit de cette expérience que pour juger ſi la peſanteur de la lentille eſt proportionnelle à la force des verges de compenſation d'un pendule quelconque appliqué ſur le pyrometre, il faut que, ſoit que l'on appuie ſur la lentille, ou qu'on la ſouleve, l'aiguille du pyrometre revienne

toujours au même degré d'où elle eſt partie.

2255. Il ſuit de-là qu'il eſt poſſible de faire différentes ſortes de verges propres à remédier aux écarts produits par la dilatation & contraction des métaux, & que cela dépend du rapport de ſolidité des verges avec la peſanteur de la lentille ; ainſi en n'employant qu'une verge de cuivre, deux d'acier, & un levier de compenſation, on pourra parvenir à faire une verge de pendule, qui étant plus ſimple que celle à chaſſis, ſoit cependant propre à corriger les effets du chaud & du froid. Nous allons travailler à donner les dimenſions d'un tel pendule.

2256. Pour ne pas donner au pendule plus de peſanteur qu'il n'eſt beſoin, il faut faire chaque verge particuliere d'une force qui ſoit telle qu'elle ſoit relative à la preſſion qu'elle éprouve ; il faut donc rechercher, avant de compoſer le pendule, la quantité de preſſion que cauſe la lentille ſur chaque verge ; car il eſt bon de remarquer qu'elle n'eſt pas la même ſur toutes les parties de la verge. Pour cet effet il faut remarquer que s'il n'y avoit point de levier de compenſation, & que la verge qui porte la lentille eût ſimplement un talon qui poſât ſur la verge de cuivre, alors les verges d'acier & de cuivre devroient être dans le rapport des dilatations, c'eſt-à-dire, comme 74 à 121 ; or cela eſt fondé ſur nos expériences qui paroiſſent prouver que les dilatations ſont en raiſon inverſe des ténacités (*a*) des

(*a*) Car l'action du feu produit une dilatation qui eſt d'autant plus grande, que les parties du corps ſur lequel elle agit, cedent facilement ; & au contraire ſi la chaleur agit ſur un corps dont les parties ne puiſſent ſe ſéparer que par un effort violent, l'extenſion ou dilatation en ſera plus petite ; en un mot cet effet de la chaleur ſur les corps ne doit pas être différent de l'action produite par des poids dont on peut charger ces corps pour les faire rompre ; & la loi de la dilatation doit être la même que celle de la ténacité : nous joignons ici une table de la ténacité des métaux ; je l'ai tirée de la Minéralogie de *Vallerius*, tom. 1.

Un fil d'or cylindrique d'un dixieme de pouce (pied du Rhin) de diametre, peut ſoutenir, avant de ſe rompre, un poids de . . . 500 liv.

Un fil de fer de même dimenſion que celui d'or, . . . 450

De cuivre, ...	299	$\frac{1}{4}$
Argent, ...	270	
Etain, ...	49	$\frac{1}{2}$
Plomb, ...	29	$\frac{1}{4}$

En comparant cette table avec celle des dilatations de l'article (1696), on voit que les dilatations ne ſont pas exactement en raiſon inverſe des ténacités des parties ;

parties qui compoſent les corps : donc en ſuppoſant qu'une verge ſimple d'acier qui a 6 lignes de largeur & 4 d'épaiſſeur peut ſupporter, ſans s'affaiſſer, une lentille de 20 livres ; la verge de cuivre qui ſupportera la même lentille par un ſimple talon, ayant la même épaiſſeur, devra être plus large que celle d'acier, dans le rapport de 121 à 74. Mais lorſqu'il eſt queſtion d'un pendule qui a un levier de compenſation, les dimenſions deviennent tout autres, ainſi que nous allons le faire voir ; car dans le pendule compoſé de trois verges (*Planche XXXIV, fig.* 2) à cauſe du levier de compenſation, l'action de la lentille ſur la verge de cuivre eſt double de ſon poids ; ainſi la largeur de cette verge ne doit pas être ſeulement comme la dilatation du cuivre à l'acier ; mais de plus, comme l'effort qu'elle recoit eſt à celui qu'éprouve la verge qui ſupporte la lentille, c'eſt-à-dire, dans le cas actuel, double de la largeur premiérement trouvée. Enfin la verge d'acier *A B* qui porte les deux talons, dont l'un porte le point de ſuſpenſion, & l'autre ſur lequel poſe le bout inférieur de la verge de cuivre ; cette verge, dis je, n'éprouve pas ſimplement l'effort du poids de la lentille, mais elle reçoit cet effort multiplié par le levier, c'eſt à-dire, qu'il eſt double du poids de la lentille ; donc cette force fait effort pour écarter ces talons, & faire fléchir la verge ; ainſi pour qu'elle n'éprouve pas plus d'effort que la verge qui ſupporte la lentille, il faut qu'elle ait une largeur double de celle-ci : il faut auſſi avoir attention au poids même des verges ; car la verge à talon ſupporte, outre l'action double de la lentille, le poids de

je ſuis cependant perſuadé que cette loi doit avoir lieu (même dans les fluides) ; mais pour s'en aſſurer, il faudroit que la même verge d'or, de fer, de cuivre, &c, qui auroit ſervi à faire les expériences ſur les dilatations, fût enſuite employée pour faire les expériences ſur les ténacités ; car ſans cela, la différence des matieres peut cauſer une erreur conſidérable, puiſqu'il eſt évident que la dilatation d'une verge d'or à 21 karats eſt différente de celle de l'or pur dont M. Vallerius a dû ſe ſervir pour faire expérience de la ténacité : l'or recuit ou battu change encore ; ainſi il faut, pour pouvoir tabler là-deſſus, que chaque verge à éprouver ſoit dans les mêmes circonſtances ; c'eſt-à-dire, qu'il faut l'employer à l'une & l'autre expérience.

la verge de cuivre, plus celui de la verge qui ſoutient la lentille ; il faut auſſi que le levier de compenſation ait une force relative à l'effort qu'il reçoit. Enfin il faut en général que les dimenſions de toutes les parties du pendule ſoient dans le rapport des preſſions ; alors toutes ces parties ſeront capables de ſupporter le même effort ſans affaiſſement.

Dimenſions du Pendule.

2257. Ayant ſuſpendu à une verge d'acier qui a 6 lignes de largeur & 4 d'épaiſſeur, une lentille de 30 livres, j'ai vu que cette verge n'en étoit point affaiſſée : partant d'après cela, on aura facilement les autres dimenſions des verges. Pour trouver la largeur de la verge de cuivre, on fera la proportion 74 : 121 :: 6 : x ; on trouve pour 4e terme $9\frac{60}{74}$, c'eſt-à-dire qu'un pendule qui auroit une verge de cuivre de 9 lignes $\frac{60}{74}$ de largeur, & 4 d'épaiſſeur, ſeroit également propre à ſoutenir un poids de 30 livres que la verge d'acier qui a 6 lignes de largeur & même épaiſſeur. Mais comme dans le pendule compoſé de trois verges, celle de cuivre ſupporte un effort double du poids de la lentille, il faut doubler la largeur de cette verge ; ainſi elle ſera de 19 lignes $\frac{46}{74}$, ou environ 20 lignes. Enfin la verge d'acier qui porte les deux talons, éprouve le même effort que celle de cuivre ; donc cette verge doit avoir le double de la largeur de la verge d'acier qui porte la lentille ; elle aura donc 12 lignes, & renforcée vers le talon, comme dans la figure (*Pl. XXXVI. fig.* 2). Voilà les dimenſions qu'il faut donner au pendule à trois verges dont voici la deſcription.

2258. Le bout *A* de la verge à talon *A B* s'attache à la fourchette de ſuſpenſion qui n'eſt pas ici repréſentée. (Voy. la figure, *Pl. XXVIII*, *fig.* 5). Le talon inférieur *B* reçoit le bout *C* de la verge de cuivre ; le bout ſupérieur *D* porte une cheville *a* ſur laquelle poſe le levier de compenſation *E* ; le bout *F* de la ſeconde verge d'acier porte une cheville *b* qui appuie ſur le levier de compenſation ; le bout inférieur *G* de cette verge eſt

fait en vis, & paſſe à travers la fourchette *H H*: cette fourchette eſt retenue après la verge au moyen de l'écrou *I*; la fourchette embraſſe la lentille par ſon épaiſſeur, & la ſupporte au moyen de la vis *K* qui la traverſe : la lentille ainſi ſuſpendue par ſon centre, peut ſe dilater ſans changer la longueur du pendule (2015) ; la lentille eſt donc ſuſpendue par la verge *F G*, & agit ſur le levier *E*, & par conſéquent ſur la verge de cuivre. Le centre de mouvement du levier de compenſation ſe fait au point *C* ſur une eſpece de dent *d* portée par la fourchette *L* ; cette fourchette qui embraſſe l'épaiſſeur de la verge (ainſi que le levier de compenſation) eſt mobile au moyen de la vis de rappel *M* ; en faiſant mouvoir cette vis de rappel, on approche ou on écarte le centre du mouvement *c* des chevilles *a*, *b* ; par ce moyen on cherche le point convenable pour la compenſation ſelon que les extenſions des mêmes métaux ſont différentes.

2259. Le bout inférieur de la verge *A B* porte une partie prolongée *N* qui paſſe dans une entaille faite à la fourchette, & qui ſert à l'empêcher de tourner, ainſi que la lentille ; la partie *O P* eſt fixée ſur la fourchette *H*; elle ſert à appuyer ſur le côté de la verge *F G*, afin de maintenir la lentille dans ſa direction, & l'empêcher de vaciller.

2260. Les brides *Q*, *R*, *S* ſervent à retenir les verges du pendule en leur laiſſant ſeulement la liberté de ſe mouvoir librement ſelon leur longueur.

2261. J'ai ajouté à ce pendule un thermometre qui eſt mis en action par la dilatation & contraction de la verge : il ne ſert pas ſeulement à faire voir ces différents effets du chaud & du froid ; mais il eſt ſur-tout utile pour eſtimer ſi toutes les parties du pendule ſont bien proportionnées en ſolidité, & à tenir lieu, à cet égard, du pyrometre ; ainſi en appuyant ou en ſoulevant la lentille, on voit ſi l'aiguille du thermometre revient au même dégré.

2262. Sur la verge d'acier *G F*, eſt fixée une cheville d'acier *e*, ſur laquelle appuie la petite partie *f* du levier *fg*

fait

fait d'une ſeule piece rivée ſur un canon qui eſt mobile en *h* ſur une broche attachée à la verge de cuivre ; le bout *g* de ce levier agit ſur une cheville fixée à la partie *i* de l'aiguille *i l*, mobile en *m* ſur une broche miſe à vis ſur la verge de cuivre ; le reſſort *n i* appuie ſur la cheville *i*, enſorte que l'aiguille va & vient ſur elle-même, ſelon les impreſſions du chaud & du froid ſur les verges : cette aiguille *i l* marque ces changements ſur le limbe gradué *T V* : on peut graduer ce limbe en des diviſions qui ſoient correſpondantes à celles du thermometre de M. de Réaumur ; ainſi ce thermometre marquera le degré de température qui frappe le pendule.

Remarque ſur les verges ſimples de Pendule.

2263. Il ſuit des obſervations que nous venons de faire, ſur le rapport entre la peſanteur de la lentille & la force des verges, que dans un pendule ſimple il ne faut pas être moins attentif à donner ce rapport, que pour celui qui eſt compoſé de pluſieurs verges ; car ſi la lentille eſt trop peſante, relativement à la verge, il arrivera que la verge s'alongera de plus en plus par la chaleur, & que le froid ne la ramenera jamais au même point où elle étoit avant l'extenſion ; & ainſi de ſuite, à proportion que la lentille eſt plus peſante ; enſorte qu'une horloge où ce pendule eſt appliqué, ira toujours en retardant de plus en plus. Il ſuit de la même remarque que les ſuſpenſions à reſſort doivent néceſſairement s'alonger de plus en plus par les changements de température ; & c'eſt une des raiſons qui nous ont fait préférer la ſuſpenſion à couteau. Lors donc que l'on voudra employer une lentille du poids de 30 livres, il faudra employer une verge d'acier qui ait 6 lignes de largeur & 4 d'épaiſſeur.

2264. Nous devons encore obſerver que la force relative de la verge avec le poids de la lentille doit changer par l'étendue des arcs de vibrations du pendule ; car

plus les arcs ſeront grands, & plus la lentille fera effort (*a*) pour s'écarter du point de ſuſpenſion, à cauſe de l'effet de la force centrifuge : ainſi la verge éprouvera une preſſion plus grande que le poids de la lentille ; d'où il ſuit qu'un pendule, d'abord en repos & appliqué ſur le pyrometre, étant alors dans le rapport convenable, pourroit ne plus l'être, lorſque le pendule étant appliqué à l'horloge il décriroit de grands arcs.

Expériences ſur les effets des réſiſtances des huiles, & les frottements de l'échappement à repos dans une Horloge aſtronomique.

2265. Ayant voulu connoître quels ſont les changements produits par la différence des huiles & des frottements, en paſſant du chaud au froid, dans l'horloge aſtronomique décrite (1768 *& ſ.*) je notai, le 23 juin 1761 les degrés que parcouroit le pendule. Le thermometre étant à 22 degrés, le pendule décrivoit des arcs de 25 minutes ; & en hyver (le 2 Mars 1762), lorſque le froid extérieur étoit à 4 degrés au deſſous de la glace, j'ai laiſſé ouverte pendant la nuit, la fenêtre de la chambre où eſt placée l'horloge ; le thermometre placé à côté de l'horloge, étoit alors à 1 degré au-deſſous de la glace ; le pendule ne décrivit que des arcs de 12 minutes $\frac{1}{2}$: ainſi 23 degrés de différence dans la température ont réduit l'étendue des arcs décrits par le pendule, à la moitié de ce qu'ils étoient en été. Voilà l'effet produit par les réſiſtances des huiles, & la différence des frottements du chaud au froid. Or on conçoit que malgré la théorie qui dit qu'en doublant l'étendue des petits arcs, on ne change pas l'iſochroniſme des vibrations, on conçoit, dis-je, que l'horloge doit néceſſairement varier ; car les frottements de l'échappement qui eſt à repos, changent très-ſenſiblement la durée des vibrations, comme on

(*a*) Cet effort augmente comme le quarré de l'arc.

le verra par une expérience que je rapporterai ci-après. Cette différence dans l'étendue des arcs de vibration auroit été infiniment petite, ſi l'arc décrit par le pendule, au lieu d'être de 25 minutes, eût été de 2 ou 3 degrés; car alors, ſelon la remarque du n°. (1865), l'effet des huiles auroit été dans un moindre rapport avec la force de mouvement du pendule.

Expérience faite avec une Horloge à ſecondes, ſur les effets de l'Échappement à repos.

2266. L'horloge à équation que je préſentai à l'Academie en 1754, a un échappement à repos, diſpoſé pour faire décrire de très-petits arcs au pendule: voyez art. (1789). L'ancre d'échappement de cette horloge a ſon centre de mouvement 6 pouces au-deſſous du point de ſuſpenſion, dont l'élévation eſt la même que le centre de la roue d'échappement; & la cheville de la fourchette agit ſur le pendule à 12 pouces du centre de ſuſpenſion; ainſi l'angle décrit par le pendule, eſt moitié plus petit que celui de l'ancre. Par cette méthode, l'ancre parcourant un plus grand eſpace, devenoit plus facile à exécuter; mais j'ai reconnu depuis quelque temps, que cette méthode d'augmenter le chemin parcouru par les palettes d'échappement, ſans augmenter l'étendue des arcs décrits par le pendule, eſt très-défectueuſe, parce que cela augmente les frottements & les variations; & c'eſt ce que je viens de vérifier encore dans l'horloge en queſtion; car après l'avoir vue aſſez bien réglée, je me ſuis apperçu tout-à-coup qu'elle retardoit de plus de 2 minutes par jour: je remontai la lentille de deux tours d'écrou; & malgré cela, l'horloge alloit toujours en retardant, ce que j'attribuai au frottement de l'ancre: je vis en effet que les palettes étoient entiérement deſſechées d'huile, & ſans que le poli de l'ancre fût ôté; je ne fis donc ſimplement que remettre de l'huile à l'ancre, & dès-lors l'horloge

avançoit beaucoup, & elle n'a été réglée qu'après avoir ramené la lentille au point où elle étoit auparavant.

2267. On voit par cette expérience que ſi dans une horloge dont le régulateur eſt aſſez puiſſant (la lentille peſe 40 livres), le changement de frottement de l'échappement eſt capable de produire de ſi grands écarts, le changement des frottements ne doit pas en produire de moindres dans les montres à repos : on peut en conclure de plus ſur les échappements d'horloges ou montres en général; 1°, qu'il faut employer préférablement, lorſqu'il eſt poſſible, un échappement dont la traînée eſt très-petite, & qui n'exige pas d'huile; alors le frottement ſera plus conſtant; 2°, qu'il faut, pour obtenir une petite traînée, diminuer, autant qu'il eſt poſſible, la longueur des bras de l'ancre; 3°, l'effort que fait la roue par la levée, augmente la quantité de mouvement du régulateur; & immédiatement après le même effort de la roue diminue la force de mouvement; ainſi plus l'arc par la levée ſera grand, & celui de ſupplément petit, & moins les frottements de l'échappement ſeront capables de troubler l'iſochroniſme des vibrations.

Note ſur les Couteaux de ſuſpenſion.

2268. Nous avons dit (1552) qu'il faut proportionner la longueur du couteau à la peſanteur de la lentille; mais cela ne ſuffit pas pour éviter l'affaiſſement des parties; il faut de plus, & l'effet en eſt plus ſûr, changer l'angle ou petite portion de cercle qui termine le couteau, ſelon que le pendule eſt léger ou peſant; s'il eſt léger, le couteau peut être plus angulaire; & s'il eſt peſant, il doit être émouſſé ou formé par une portion d'un plus grand cercle; dans ce dernier cas il y aura, à la vérité, plus de frottement; mais, ce qui eſt avantageux, ce frottement ſera conſtant.

Méthode pour prendre très-exactement l'heure du Temps-moyen par le paſſage du Soleil au Méridien (a).

2269. Prenez une montre à ſecondes que vous arrêterez au nombre de minutes & de ſecondes marquées par la table d'équation, pour l'année & jour actuel; faites marcher la montre à l'inſtant du paſſage du ſoleil au méridien, vous aurez exactement l'heure moyenne pour le jour donné; enſuite vous réglerez l'heure de l'horloge ſur celle de la montre; ainſi répétant pluſieurs fois la même opération, on verra ſi l'horloge avance ou retarde, & on la réglera en conſéquence.

EXEMPLE.

2270. Le 6 Février 1762, je veux avoir exactement l'heure du temps moyen, & m'en ſervir à vérifier en même temps la juſteſſe de mon horloge aſtronomique; je cherche dans la IIIe. table d'équation (placée à la fin de la premiere partie) l'heure du temps moyen; je trouve que lorſqu'il eſt midi au ſoleil; le temps moyen eſt 12 heures 14 minutes 34 ſecondes; j'arrête donc avant midi la montre à ſecondes, enſorte qu'elle marque juſte 12 heures 14 minutes 34 ſecondes, & j'attends le paſſage du ſoleil au méridien; dans ce moment je laiſſe marcher la montre, & j'ai préciſément l'heure du temps moyen: je me ſers de l'heure marquée par la montre, pour mettre l'horloge à la même heure, minute, & ſeconde. Le lendemain ou deux jours après, je recommence la même opération; & après avoir pris l'heure au ſoleil avec la montre, j'examine d'abord la différence de mon horloge avec l'heure de la montre; je monte

(a) Ce n'eſt point ici la place de cet article qui auroit dû être à la ſuite de la premiere Partie, Ch. XX. Lorſque j'en étois à cette Partie, cela ne me vint pas dans la tête: ce ne ſera pas le ſeul article qui ne ſoit pas mis à ſa place. On ſe rappellera que ceci n'eſt qu'un eſſai qui n'a pas été fait de ſuite, mais à meſure que les idées ſe ſont préſentées.

ou je deſcends la lentille en conſéquence, & enſuite je mets les aiguilles à l'heure : je vérifie ainſi, à pluſieurs repriſes, la marche de l'horloge, juſqu'à ce qu'elle ſoit parfaitement réglée.

2271. On voit par cette méthode, qu'en même temps que l'on vérifie la juſteſſe de l'horloge, l'on a la facilité de retoucher à la lentille, & de remettre enſuite les aiguilles à l'heure ; parce que pendant cette opération la montre conſerve l'heure, ce que l'on ne pourroit pas pratiquer en vérifiant immédiatement l'heure du ſoleil avec celle de l'horloge; car pendant que l'on touche au pendule pour le régler, & aux aiguilles pour les remettre à l'heure, le ſoleil paſſe, & on eſt obligé d'attendre pour cela au lendemain, ce qui multiplie les opérations, & augmente le temps qu'il faut pour régler l'horloge.

CHAPITRE XLVI.

Additions à différentes parties des Montres ; compenſations, frottements, &c.

Sur le le calcul des peſanteurs de Balancier.

2272. LORSQUE nous avons calculé les forces de balancier, relativement à la force motrice, nous ſuppoſions que la force tranſmiſe au régulateur par la roue d'échappement, étoit proportionnelle au plus ou moins de force motrice ; mais cela ne peut avoir lieu que dans le cas où les frottements des pivots ſeroient proportionnels à cette force : or pour cela il eſt néceſſaire d'augmenter & de diminuer la groſſeur des pivots proportionnellement à la preſſion qu'ils reçoivent du moteur. Il eſt aiſé de voir que, malgré que l'on

fît deux montres ſur le même calibre, en employant même peſanteur de balancier, même étendue de vibration, même force motrice, que pour peu que l'on changeât les groſſeurs des pivots, les deux montres n'iront pas avec la même juſteſſe, enſorte qu'il faudra augmenter ou diminuer la force motrice, ſelon que la montre variera du chaud au froid : or ſi cela eſt néceſſaire dans deux montres de même eſpece, à plus forte raiſon doit-on eſtimer & proportionner les frottements dans deux montres qui différent par la force de mouvement ; & c'eſt pour parvenir à ce but que nous avons conſtruit un compas propre à meſurer très-exactement la groſſeur des pivots ; par ce moyen, lorſque l'on aura exécuté une montre qui aille parfaitement dans tous les temps, on en fera toujours une autre qui ſoit auſſi exacte en partant d'après ſes dimenſions.

Deſcription du Compas propre à meſurer exactement les groſſeurs des pivots.

2273. La figure 12 de la XXXV Planche repréſente ce compas : *b c* eſt un limbe gradué en 48 diviſions ; l'aiguille *d e* porte deux pivots, dont l'un roule dans un trou fait au centre *f* du limbe, & l'autre pivot roule dans le trou fait au pont *g* : *a* eſt une piece d'acier fixée ſur le limbe ; elle forme avec la partie *d* de l'aiguille, la mâchoire ou compas qui doit meſurer le pivot, tandis que le bout oppoſé *e* de l'aiguille marque ſur le limbe le diametre du pivot en 48emes de ligne ; car lorſque les deux mâchoires *d*, *a* du compas ſe touchent, alors l'aiguille doit marquer exactement zéro, & quand la mâchoire *a*, *d* eſt ouverte d'une ligne, l'extrémité *e* de l'aiguille eſt écartée du point *o* du limbe de 48 diviſions ; ainſi lorſqu'un pivot ne fait parcourir à l'aiguille que trois diviſions du limbe, en partant de zéro, cela indique que le diametre du pivot eſt de $\frac{3}{48}$ de ligne, & ainſi de ſuite.

2274. Le reſſort *h* agit ſur une cheville *m* fixée à l'aiguille, ce qui l'oblige d'appuyer ſur le bout de la vis de

rappel *k* ; cette vis ſert à donner aux mâchoires *a*, *d* l'ouverture exacte pour meſurer le diametre du pivot indiqué par le bout oppoſé de l'aiguille ; le bout *n* ſert de manche à cet outil.

2275. Pour pouvoir eſtimer la plus petite différence dans la groſſeur d'un pivot, j'ai donné deux pouces de rayon à l'arc gradué *b c* du limbe, & j'ai donné deux lignes de longueur aux mâchoires *a*, *d* : par ce moyen on peut eſtimer la groſſeur d'un pivot juſqu'à la 96e partie d'une ligne. Nous nous ſervirons ci-après de cet outil pour donner les dimenſions d'une bonne montre éprouvée ſelon nos principes.

Sur les réſiſtances des huiles pour la compenſation de l'action du chaud & du froid ſur le Spiral.

2276. Quand après des peines infinies on eſt parvenu à compoſer & exécuter une montre qui ne varie point par les changements de température, poſition &c, enfin qui marche conſtamment avec la même juſteſſe ; il eſt très-eſſentiel de noter toutes ſes dimenſions, afin de s'en ſervir pour terme de comparaiſon, pour conſtruire une montre qui differe, ſoit par ſa quantité de mouvement, vibration &c. Mais il ne ſuffit pas alors, comme nous avons fait ci-devant (1949 *& ſuiv.*), de comparer les forces de mouvement des deux montres ; car les réſiſtances des huiles dans les pivots de balancier (ſeules cauſes de compenſation des effets du froid ſur le ſpiral), ne ſuivent pas la proportion des quantités de mouvement, elles ſont plutôt en raiſon inverſe ; c'eſt-à-dire que plus la quantité de mouvement de balancier augmentera, & plus les réſiſtances des huiles diminueront (les pivots reſtant les mêmes) ; & par conſéquent moins la compenſation aura lieu. Il faut donc de plus, & cela eſt très-eſſentiel, comparer les frottements & réſiſtances par les huiles dans les pivots de balancier, afin de les proportionner aux quantités de mouvements.

Propoſition

Propoſition ſur la Compenſation.

2277. Il faut, pour la compenſation, que la réſiſtance des huiles, ou frottement des pivots de balancier produiſe par le froid un retard qui ſoit égal à l'accélération du même froid ſur le ſpiral (1887) ; mais la force du ſpiral doit être proportionnelle à la force de mouvement du balancier ; & les changemens d'élaſticité du ſpiral par le froid ſont auſſi proportionnels à la force du ſpiral. On tirera donc delà cette regle :

La réſiſtance des huiles dans les pivots d'un balancier doit être (pour la compenſation) à la réſiſtance des huiles d'un autre balancier où cette compenſation a lieu, comme la force de mouvement du balancier cherché eſt à la force de mouvement du balancier donné.

2278. Pour déterminer ce rapport, on ſe ſervira, 1°, des méthodes indiquées (1961) pour trouver les quantités de mouvement des balanciers ; & 2°, pour avoir les réſiſtances des huiles dans les pivots du balancier donné, ou, ce qui revient au même, les frottements, on fera un produit de l'eſpace parcouru en une ſeconde, par exemple, par les pivots du balancier ; or pour avoir cet eſpace, il faut meſurer le diametre des pivots, multiplier ce diametre par le nombre de vibrations en une ſeconde ; enfin on multipliera ce produit par le poids du balancier : on fera le même calcul pour le balancier cherché, & l'on aura des produits qui exprimeront les frottements relatifs des pivots des deux balanciers. Mais comme par le principe (2277), le frottement des pivots du balancier cherché doit être proportionnel à la quantité de mouvement du balancier ; afin que la compenſation ait lieu, on laiſſera une inconnue x qui repréſentera le diametre des pivots du balancier cherché ; on fera la regle de Trois qui donnera la valeur de x ; ou, ſi le diametre des pivots eſt donné, on trouvera le poids du balancier, & ainſi des autres dimenſions.

2279. Je m'étois propoſé de donner des exemples pour mieux faire entendre les principes que je viens d'énoncer ; mais ce que j'ai encore à traiter, & le peu de temps que je puis donner à cet ouvrage m'en empêche : au reſte, pour peu qu'un Artiſte ait d'intelligence, il ſuppléra aux applications.

REMARQUE.

2280. Il paroît d'abord par le principe que nous venons d'établir, qu'en ſuppoſant ces rapports donnés, une montre qui auroit peu de force de mouvement, comme celle à un mois, par exemple, devroit aller avec une juſteſſe égale à celle qui allant 30 heures, auroit une grande force de mouvement ; mais cela n'eſt vrai que pour les réſiſtances des huiles, ſeulement dans les pivots de balancier qui compenſeront les effets du froid ſur le ſpiral, en ſuppoſant que la force motrice eſt conſtante ; or dans une montre qui a peu de force de mouvement (*a*), cette ſuppoſition n'a lieu que pour le moment actuel où le reſſort conſerve toute ſon élaſticité, les huiles, leur fluide, enfin les frottements reſtant les mêmes ; & auſſi-tôt que ces choſes changeront, la montre fera des écarts conſidérables, ainſi qu'il eſt aiſé de voir ; car l'effet du froid ſur les huiles des pivots du rouage (d'une montre à un mois, par exemple,), peut être tel qu'il diminue une grande partie de la force qui eſt à la circonférence de la roue d'échappement (1865) : or dans ce cas la montre doit varier ; 1°, parce que le balancier décrivant de plus petits arcs, les vibrations ne ſeront pas de même durée que par les grands arcs (1926) ; 2°, la

(*a*) Il faut d'ailleurs obſerver que les limites de la diminution de mouvement dans une montre, a des bornes aſſez étroites ; car il faut ſuppoſer que l'on peut diminuer les frottements des pivots de balancier & du rouage à proportion de la force ; mais il y a un terme, paſſé lequel, les pivots ne peuvent être réduits ſans augmenter les frottements ; car plus ils ſeront fins, & plus ils tendent à détruire, à cauſe que leur ſurface n'eſt plus unie, mais compoſée de petites parties angulaires qui coupent ; effet qui n'a pas lieu dans les pivots qui ont un certain diametre, & cela eſt relatif à la configuration des parties de l'acier : enfin on ne doit diminuer la force de mouvement qu'au point convenable, pour que les changements des huiles par le froid & le chaud ne ſoient pas capables de changer ſenſiblement la force communiquée à la roue d'échappement.

preſſion de la roue ſur le cylindre ſera beaucoup plus petite, & le frottement, par cette raiſon, ſera bien différent; il le ſera encore, parce que les huiles miſes à l'échappement, ſeront moins fluides, &c; & cela ſeul eſt capable de produire de grands écarts, & d'autant plus que ces frottements ſeront dans un grand rapport avec la force de mouvement du régulateur: il eſt donc encore évident que cette montre ſera préférable, qui aura une grande quantité de mouvement.

2281. Il ſuit auſſi de la même remarque, & de ce qui précede, que pour que la compenſation du chaud & du froid ait lieu, il faut que la force motrice ſoit conſtante; car ſi elle change, alors le balancier décrira de plus grands ou plus petits arcs, & par conſéquent les réſiſtances des huiles changeront à proportion; ce qui produira des écarts à la montre, qui ſeront plus ou moins grands, ſelon qu'elle aura plus ou moins de force de mouvement, ſelon la nature de l'échappement, &c. Nous ne nous arrêterons pas à l'analyſe de ces effets; car cela eſt ſuſceptible d'une infinie variété, ſelon les différentes combinaiſons de la machine; il ſuffit de faire ſentir ici la néceſſité d'une force motrice conſtante.

2282. Pour parvenir à rendre la force motrice auſſi conſtante qu'il ſe peut dans une montre, il y a trois moyens: le premier, c'eſt de donner une grande force de mouvement au régulateur, ce qui augmente à proportion le moteur, & par conſéquent les effets des huiles diminuent par le froid une très-petite partie de la force tranſmiſe à la roue d'échappement. Le ſecond moyen eſt de proportionner les ſurfaces des parties frottantes de la machine à la preſſion que chaque partie ſupporte, & ſur-tout relativement à la quantité que peut ſoutenir une matiere donnée, ſans que ſa ſurface en ſoit pénétrée & déchirée, condition eſſentielle pour rendre le frottement conſtant. Enfin le troiſieme moyen eſt de tellement diſpoſer la machine, que l'huile que l'on met aux parties frottantes, pour en adoucir le frottement, s'y conſerve long-temps, & en ſe renouvellant en quelque ſorte.

2283. Pour établir les dimenſions des parties frottantes,

il faut partir d'après l'expérience ; car c'eſt la ſeule voie à ſuivre, puiſque l'on ne peut pas déterminer immédiatement la quantité d'effort que peut éprouver, ſans ſe déchirer, un corps de telle maſſe qui ſe meut avec tant de vîteſſe, &c. Mais ſi je ſais par expérience qu'un balancier, par exemple, qui peſe tant, à telle vîteſſe, ayant des pivots de telle groſſeur, peut rouler ſur un autre corps, ſans que les parties de l'un ou l'autre ſe déchirent par un mouvement continué ; je pourrai, d'après cette connoiſſance, en conclure les dimenſions de tout autre balancier, roues, &c, en augmentant ou diminuant les ſurfaces, proportionnellement aux preſſions, vîteſſes, &c ; c'eſt-à-dire, en donnant des frottements relatifs à ceux connus.

Dimenſions d'une montre à demi-ſecondes, dont l'échappement eſt à cylindre.

Cette montre a été éprouvée par différentes températures ; & la compenſation ſe fait très-bien, les frottements rendus conſtants : on pourra donc partir d'après, pour conſtruire d'autres montres.

2284. La roue de fuſée fait un tour en 5 heures $\frac{1}{2}$.

2285. Le reſſort tire 3 gros $\frac{1}{2}$ appliqués à 4 pouces du centre de la fuſée.

2286. La roue de grande moyenne fait un tour par heure ; ſes pivots ont $\frac{5}{48}$ de ligne de diametre : cette roue peſe 5 grains.

2287. La petite roue moyenne peſe 2 grains $\frac{1}{4}$; ſes pivots ont de diametre lign. 0, $\frac{5}{48}$; elle fait un tour en 7 minutes $\frac{1}{2}$.

2288. La roue de champ peſe 1 grain $\frac{1}{8}$; ſes pivots ont de diametre lig. 0, $\frac{3+\frac{1}{2}}{48}$; elle fait un tour par minute : c'eſt un pivot prolongé de cette roue qui porte l'aiguille des ſecondes.

2289. La roue d'échappement peſe 1 grain $\frac{1}{8}$, ſes pivots $\frac{3}{48}$ de lign. diam. elle fait un tour en 15 ſecondes, ou 4 tours par minute ; & par conſéquent 240 par heure, &

1320 révolutions pour une de la fusée : cette roue a 15 dents ; le balancier fait donc 120 vibrations par minute, & 7200 par heure : le diametre de cette roue est de 3 lignes $\frac{1}{2}$.

2290. Le balancier pese avec la virole & le piton de spiral 13 grains, & 12 grains sans la virole & le piton. Ses pivots ont de diametre $\frac{3}{48}$; le diametre du balancier est de 9 lignes $\frac{1}{2}$; le diametre extérieur du cylindre $\frac{11}{48}$.

2291. L'arc de levée de l'échappement est de 45 degrés ; l'arc de vibration est de 280 degrés, lorsque la montre marche à plat.

Sur les frottements du Cylindre.

2292. Lorsqu'on travaille à rendre les frottements constants, il ne faut jamais perdre de vue ce principe : Qu'un corps donné ne peut soutenir qu'une certaine pression, sans que les parties frottantes se détruisent, & par conséquent sans que le frottement augmente. Si donc l'on a un grand balancier pesant, ayant des vibrations promptes & étendues, c'est-à-dire, une grande quantité de mouvement, & que ce balancier soit mu par un échappement à cylindre, alors le frottement sur le cylindre sera très-considérable, & il en résultera une prompte destruction, à moins que les dents de la roue ne soient fort épaisses ; car si ces dents sont aigues & minces, elles pénétreront les pores qui terminent la surface du cylindre, & déchireront cette surface, d'où suivra une très-grande augmentation de frottement & une prompte destruction, & des variations dans les vibrations du régulateur : l'épaisseur de la dent ou plan incliné dans une roue de cylindre doit donc augmenter à proportion de la force que cette roue doit transmettre au balancier ; & au lieu de terminer en angle les bouts des plans inclinés, il faut au contraire les arrondir afin qu'ils portent sur la plus grande surface : or pour ainsi proportionner l'épaisseur des dents, il est à propos de calculer la force transmise à la circonférence de la roue d'é-

chappement. En voici une méthode ſimple qui, à la vérité, n'eſt pas fort exacte, puiſque nous n'y faiſons pas entrer la conſidération des frottements du rouage ; mais elle l'eſt aſſez pour l'application que nous en faiſons ici.

2293. Pour trouver la force que le reſſort de la montre à ſecondes dont nous avons donné les dimenſions (2284 *& ſ.*) communique à la circonférence de la roue d'échappement, il faut réduire 3 gros $\frac{1}{2}$, force motrice, en 100emes de grain, & l'on a 252,00, leſquels étant diviſés par 1320 nombres de révolutions de la roue d'échappement pour une de la fuſée, donnera la force communiquée à la roue d'échappement ſuppoſée de 4 pouces de rayon : la diviſion faite, on trouve $\frac{19+\frac{1}{11}}{100}$; mais comme la roue d'échappement n'a que $\frac{11}{12}$ de rayon, il faut multiplier $\frac{19+\frac{1}{11}}{100}$ par le nombre qui exprime de combien le rayon 4 pouces de la fuſée où le poids eſt appliqué, eſt plus grand que le rayon de la roue d'échappement ; ce nombre eſt 27 $\frac{1}{7}$ qui multiplié par $\frac{19+\frac{1}{11}}{100}$ donne 5 grains $\frac{24}{100}$; c'eſt-à-dire, qu'en faiſant abſtraction des frottements des pivots & de l'inertie des roues, la roue d'échappement a à ſa circonférence une force de 5 grains $\frac{24}{100}$: or pour éviter la deſtruction du cylindre, je donne $\frac{3}{12}$ d'épaiſſeur aux dents de cette roue, afin que ſa preſſion ne ſoit pas capable de déchirer la ſurface du cylindre.

2294. Nous obſerverons encore ici ſur les frottements du cylindre, que plus les frottements des pivots de balancier ſont réduits, & plus la force motrice doit être grande, afin d'augmenter l'étendue des vibrations, pour que la compenſation par le chaud & le froid ait lieu ; d'où il ſuit que dans une telle montre la preſſion ſur le cylindre en eſt plus conſidérable, & par conſéquent les frottements plus grands, & ainſi des variations que ce frottement produit ; donc il ſeroit préférable de faire de plus gros pivots de balancier : on diminueroit par ce moyen l'étendue des vibrations & le frottemenr du cylindre.

2295. Il faut encore remarquer, par rapport aux frot-

tements, que quoique dans deux montres de même eſpece on ait fait les pivots de même groſſeur, les roues de même poids, le reſſort de même force, enfin toutes les dimenſions parfaitement les mêmes, il peut très-bien arriver que les frottements ne ſoient pas les mêmes, ſur-tout ſi ces montres ſont à cylindre ; car l'acier dont les cylindres ſont formés, peut aſſez différer pour produire des frottements différents ; les ſurfaces des pivots peuvent être moins unies dans les uns que dans les autres, ce qui dépend encore de la nature de l'acier ; les pivots qui ſont moins durs ont auſſi plus de frottement ; le cuivre dont les trous ſont formés, peut être plus ou moins poreux, moins pur, &c ; ainſi quoique l'on ait employé tout l'art imaginable à deux montres, on ne doit pas encore s'attendre qu'elles marchent avec la même juſteſſe : il eſt vrai que les écarts uniquement produits par la variabilité des matieres ne peuvent pas cauſer des écarts bien ſenſibles, & l'on peut d'ailleurs les corriger ; mais il eſt bon d'enviſager, ſous toutes ſes faces, ce qui contribue à la juſteſſe de ces machines.

2296. Enfin, indépendamment des cauſes de variation dans les montres que j'ai parcourues ci-devant, il y en a encore d'autres qui pour être moins apparentes, ne ſont pas moins réelles ; car ces machines ſont ſujettes à des écarts, lors même qu'il n'arrive pas de changement ni dans la température, ni dans la poſition de la montre, enfin lorſqu'il paroît que les frottements doivent être les mêmes : or ces variations peuvent être cauſées, 1°, par les changements de peſanteur de l'atmoſphere ; 2°, par la différente élaſticité du ſpiral ; car malgré que nous ne connoiſſions que l'action du chaud & du froid ſur un reſſort, il peut y avoir d'autres cauſes qui en changent la force : 3°, l'humidité & la ſéchereſſe peuvent changer la nature des frottements. Je n'ai pas pu, juſqu'ici, faire des expériences qui m'autoriſent à poſer rien de certain : ce ne ſont donc ici que des conjectures. Au reſte ſi les écarts que j'ai remarqués ſont cauſés par une des choſes ſuppoſées, ou par pluſieurs, il eſt évi-

dent qu'on en diminuera d'autant plus les effets, que les montres auront une grande quantité de mouvement, & que les frottements ſeront réduits & rendus conſtants.

Remarques ſur la maniere de rendre les frottements conſtants.

2297. Puiſque la juſteſſe des montres dépend du rapport des frottements avec la force de mouvement du régulateur (2277) & de la conſtance des frottements (2281), il faut rechercher tous les moyens qui peuvent y conduire: nous avons déja traité ces deux objets, nous ajouterons ſeulement quelques remarques au dernier.

2298. 1°, Les groſſeurs des pivots étant données, on rendra les frottements conſtants en exécutant ces pivots avec ſoin, en ſorte qu'ils ſoient parfaitement ronds, d'acier pur, bien poli, &c; on apportera ces mêmes ſoins aux trous: pour cet effet il faut employer du cuivre de chaudiere bien durci; on aura ſoin de proportionner la longueur du pivot & du trou à ſon diametre: la regle que je me ſuis faite eſt de donner pour longueur du pivot, deux fois ſon diametre.

2299. Pour rendre les frottements les plus petits poſſibles, il eſt très-eſſentiel de répartir la preſſion qui ſe fait ſur un pignon, de ſorte que chaque pivot en ſupporte la moitié, (voyez Iere Part. 941): même obſervation pour les balanciers, roues, &c. Voilà le plus grand avantage des barrettes que l'on met ſur ces platines. Il eſt même à propos, pour parvenir au même but dans les pieces à répétition, de mettre, ainſi que je le fais, des ponts en dedans des platines, afin d'accourcir les tiges, de maniere que le pignon ſe trouve également diſtant des deux pivots; il eſt évident que dans ce cas la preſſion ſe diviſe ſur chaque pivot, & qu'on peut les tenir plus petits: on diminue donc par ce moyen le frottement en le rendant plus conſtant.

2300. 2°, Il faut réſerver aux trous des pivots de profonds

fonds réſervoirs qui contiennent une aſſez grande quantité d'huile, pour pouvoir ſe conſerver long-temps. Or par la diſpoſition des frottements, il ne pourra ſe détacher que très-peu de particules de matieres des parties frottantes, ainſi les huiles reſteront mobiles, & le frottement conſtant.

2301. 4°, On met communément des calottes aux montres à cylindre ; mais outre que ſouvent elles gênent le mouvement, & en augmentent le volume, je crois qu'elles ſont aſſez inutiles pour empêcher la pouſſiere d'entrer dans le mouvement ; car ces calottes ſont percées de trous par où la pouſſiere s'introduit, & en auſſi grande quantité que s'il n'y avoit pas de calotte : il ſeroit donc préférable, en faiſant l'emboîtage de la montre, de ſupprimer le reſſort de la boîte, parce que le bouton de ce reſſort ne joint jamais aſſez parfaitement pour empêcher le paſſage de la pouſſiere ; j'aimerois mieux ne faire fermer ces boîtes que par le ſimple embichetage ; la boîte en ferme beaucoup mieux.

2302. 5°, Il eſt très-eſſentiel, comme on ſait, de mettre de l'huile pour adoucir le frottement des pivots, & autres parties frottantes d'une montre ; mais il n'eſt pas du tout indifférent de prendre telle ou telle huile ; c'eſt au contraire de ſa nature que dépend la plus grande uniformité dans les frottements ; car ſi on ſe ſert d'huile qui ſoit très-fluide dans le moment actuel où on l'emploie, alors les frottements ſeront très-petits ; mais cette huile dont les parties ſont ſi mobiles, s'évapore (*a*) très-promptement, en ſorte qu'il reſte une matiere gluante qui augmente conſidérablement le frottement ; voilà ce qui arrive aux huiles préparées. Il n'eſt

(*a*) L'huile ne s'évapore pas également dans toutes les parties de la montre ; cela dépend du plus ou moins de frottement, & ſelon que l'huile eſt raſſemblée ou expoſée par petites parties à l'action de l'air : par exemple, ſi on place une grande goutte d'huile dans le réſervoir d'un pivot, elle ſera beaucoup plus de temps à s'évaporer, que ne le ſeroit la même quantité d'huile miſe à un échappement à cylindre ; car dans le premier cas, l'huile préſente une moindre ſurface, au lieu que dans le ſecond, chaque dent de la roue emporte une partie de l'huile, d'où ſuit une plus grande ſurface expoſée à l'air, & par conſéquent une prompte évaporation : auſſi ai-je toujours vu l'huile de l'échappement plus promptement deſſéchée que celle des pivots.

pas aiſé de choiſir entre ces deux choſes : il faudroit que l'huile que nous employons dans nos montres fût très-mobile, à cauſe du peu de force de ces machines ; & il faudroit en même temps que cette huile ſe conſervât très-long-temps dans le même état, & c'eſt ce qui ne ſe peut ; car ſi l'huile eſt fluide, & qu'on veuille que le froid ne la congele pas aiſément, elle s'évaporera en peu de temps ; & ſi elle eſt graſſe, elle cauſera une plus grande réſiſtance. Au reſte, il eſt préférable d'employer cette derniere eſpece d'huile, parce qu'il vaut encore mieux que la réſiſtance ſoit plus grande, mais qu'elle ſoit permanente : j'emploie avec ſuccès d'excellente huile d'Aix ſans préparation ; la plus fraîche & la plus pure eſt la meilleure.

2303. Il faut encore obſerver, par rapport aux huiles, que l'on n'en doit pas employer de la même ſorte pour tous les frottements ; car dans une groſſe horloge de clocher, dont les roues ſont peſantes & la force motrice grande, alors il eſt beſoin de ſe ſervir d'huile fort graſſe & épaiſſe, qui s'étende ſur les parties frottantes ; car ſi on emploie de l'huile très-fluide, comme elle n'a point de corps, elle s'échappera de deſſous les parties frottantes, & celles-ci ſe gripperont comme ſi on n'avoit pas mis d'huile, d'où ſuit la deſtruction ; en un mot il faut que la matiere ou graiſſe que l'on met pour adoucir le frottement, ait une conſiſtance relative à la preſſion ; c'eſt ainſi que pour le frottement de l'aiſſieu d'un caroſſe, de l'huile d'Aix ſerviroit auſſi peu que de l'eau.

Deſcription d'une Machine à fendre toutes ſortes de Roues de Montres, Roues plates, Rochets, Roues de rencontre enarbrées, & qui ſert à former les Roues de cylindre.

2304. Quoique je ne penſe pas, ainſi qu'on l'a dû voir ci-devant, que l'échappement à cylindre ſoit auſſi bon que

celui à roue de rencontre pour les montres ordinaires, il faut convenir qu'il eſt très-commode pour les montres à ſecondes, à vibrations lentes ; & c'eſt pour cette raiſon que je crois devoir parler en paſſant de ſa conſtruction, & de quelques ſoins d'exécution ; cela pourra d'ailleurs ſervir à diriger les Ouvriers qui veulent en faire uſage. Or pour rendre l'exécution de cet échappement plus facile, je joins ici la deſcription & le plan d'un outil à fendre, qui, outre la propriété de figurer les roues de cylindre, ſert à fendre les roues plates ordinaires, & les roues de rencontre enarbrées. Je crois faire plaiſir à grand nombre d'Ouvriers, en leur donnant une machine qui étant aſſez ſimple, ſert aux uſages les plus eſſentiels des montres : cette machine, telle qu'elle eſt, n'a pas encore été exécutée ; mais chaque partie l'a été ſéparément ; je n'ai que le mérite de raſſembler dans la même machine des effets dont on fait un fréquent uſage ; ainſi elle ne peut qu'être très-bonne.

2305. La premiere figure de la Planche XXXVI repréſente cette machine toute montée dans la ſituation où elle doit être pour former l'intervalle des colonnes de roues de cylindre. La partie *A* du chaſſis *A B C D*, ſert à l'attacher à l'étau ; ce chaſſis forme avec la platine *C D* la cage dans laquelle ſe meut la plate-forme ou diviſeur *E* ; le diviſeur eſt fixé au moyen de trois vis ſur l'axe *F* ; le bout ſupérieur de cet axe roule dans le haut d'un trou conique fait au pont *G* (*a*) formé ſur le chaſſis même *A B* ; le bout inférieur de l'axe *F* roule ſur le bout de la vis *H* portée par le talon *I* formé ſur la platine *C D* ; ce talon ſert à placer la plate-forme ſur l'étau, & lui donner la ſituation horizontale néceſſaire pour fendre les roues plates & de rencontre &c : le chaſſis *A K G B C* eſt de cuivre fondu d'une ſeule piece ; la platine *C D* (de même matiere) s'aſſemble avec ce chaſ-

(*a*) L'élévation *G* eſt néceſſaire pour rendre les ajuſtements des taſſeaux plus ſolides ; car alors l'effort de la fraiſe ſe fait tout contre l'appui du taſſeau dans l'arbre *F*.

ſis au moyen des écrous 1, 2 qui entrent à vis ſur les bouts taraudés du chaſſis *A B*.

2306. L'alidade *L L* a deux ſortes de mouvements : le premier par lequel elle tourne ſur ſon centre 3, afin de faire poſer ſa pointe ſur l'un ou l'autre cercle concentrique du diviſeur. Le ſecond mouvement de l'alidade eſt celui par lequel la pointe étant poſée dans un des points de diviſion du diviſeur, on peut faire tourner celui-ci en avant ou en arriere pour préſenter la dent d'une roue contre la fraiſe ; comme ſi, par exemple, ayant fendu une roue ſur 60, on vouloit la ſubdiviſer encore en autant de parties ; ce mouvement eſt ſur-tout néceſſaire pour tailler les roues de cylindre ; ce mouvement de l'alidade eſt produit par l'écrou de rappel *M* qui entre à vis ſur la partie 4 de l'alidade ; cet écrou *M* eſt retenu avec une clavette après la piece *N* qui ſe meut autour du centre 3 ; ainſi à meſure qu'on tourne l'écrou, on fait avancer ou reculer l'alidade, & par conſéquent le diviſeur *E*. Nous expliquerons ci-après l'ajuſtement de l'alidade : on ſait d'ailleurs qu'elle eſt flexible pour pouvoir être ſoulevée pour faire poſer la pointe ſur les points de diviſion du diviſeur.

2307. L'*H* (*fig.* 5) qui ſert à fendre les roues plates & roues de rencontre, s'ajuſte à l'ordinaire ſur la piece *O P* (*fig.* 1) portée par le coulant *Q Q* ; la pointe de la vis *a* (*fig.* 5) entre dans le point *O* (*fig.* 1), & l'autre pointe *b* (*fig.* 5) dans le point oppoſé à *O* (*fig.* 1) ; la piece *R* qui porte le point *O* & ſon oppoſé qui n'eſt pas vu, eſt portée par la piece coudée *O P*, & elle peut tourner ſéparément ſur le centre *S*, afin d'incliner l'*H* du nombre de degrés, dont on veut que les dents de la roue de rencontre ſoient inclinées à l'axe : pour cet effet, le bord de cette piece *R* eſt gradué en degrés de cercle ; on trace un trait ſur la piece *O* qui ſert d'index, pour aſſembler ces deux pieces *R* & *O P* ; celle *R* porte une tige parfaitement tournée ronde, qui entre très-juſte dans le trou fait au centre *S* de la piece *O* ; le bout de cette tige eſt taraudé pour recevoir

l'écrou *S*, dont la preſſion fixe les pieces *R* & *O*, en donnant à celle *R* l'inclinaiſon que l'on veut : cette inclinaiſon doit être zéro lorſque l'on doit fendre les roues plates ; c'eſt-à-dire, que l'*H* doit être parallele au diviſeur, ſans quoi les dents ſe fendroient à *vis ſans fin* (*a*).

2308. La piece *O P* s'applique ſur le coulant *Q Q* après laquelle elle ſe fixe au moyen de l'écrou 5 qui entre ſur la vis faite à une broche fixée à la baſe *Q* ; la piece *P* a un trou qui entre très-juſte ſur cette broche dont on voit le bout qui ſaille au-deſſus de l'écrou 5. Ce mouvement de la piece *O P* ſert à donner à l'*H* l'inclinaiſon que l'on veut, ſoit pour fendre un rochet ou pour incliner les dents des roues de cylindre ; pour cet effet, il faut graduer le deſſus du coulant *Q* en degrés de cercle, & fixer à la piece *P* un index 6 pour indiquer l'inclinaiſon que l'on donne à l'*H*.

2309. Quand on fend une roue ordinaire, il faut, pour que ſes dents tendent parfaitement au centre de la roue, c'eſt-à-dire, qu'elles ne ſoient pas en rochet ; il faut, dis-je, que l'axe de la fraiſe ſoit perpendiculaire à la fente 7, 8 dans laquelle le coulant *Q Q* ſe meut ; & il faut que cette fente 7, 8 ſoit parfaitement dirigée au centre de la plate-forme : enfin il faut pour remplir cette condition, que le plan de la fraiſe paſſe par le centre du diviſeur. Quand on a trouvé cette poſition de l'*H*, on marque zéro ſous la pointe de l'index 6 ; & c'eſt de ce point que l'on commence les degrés d'un ou d'autre côté : cela étant ainſi arrangé, à chaque fois que l'on veut fendre une roue ordinaire, on arrête la piece *O P* ſur le coulant *Q Q*, de maniere que l'index ſoit à zéro ; on place ſur le porte-fraiſe, la fraiſe dont on veut ſe ſervir pour fendre ſa roue ; on fait mouvoir le coulant au moyen de la vis de rappel *T*, juſqu'à ce que la fraiſe ſoit tout contre la pointe du taſſeau ; alors on fait mouvoir (ſelon ſa longueur) l'arbre *A* (*fig.* 5) au moyen des vis *B*, *C*, & de ſorte que le milieu de

(*a*) C'eſt le terme dont ſervent les Ouvriers, pour dire que le flanc d'une dent de roue ou de pignon eſt incliné à l'axe de la roue, ou, ce qui revient au même, lorſque le flanc de cette dent n'eſt pas perpendiculaire au plan de la roue.

l'épaiſſeur de la fraiſe paſſe par la pointe du taſſeau ; on recule enſuite le coulant juſqu'à ce que la fraiſe n'anticipe ſur la roue à fendre que de la quantité d'enfoncement qu'il faut donner aux dents.

2310. Le coulant *Q Q* porte un talon formé au-deſſous de la baſe *Q*, & dans toute la longueur *Q Q* ; ce talon entre très-juſte dans la fente 7, 8, faite au chaſſis *B*, & c'eſt ce qui forme le coulant ; ce talon eſt percé d'un trou fait à vis, dans lequel entre la vis de rappel *T* ; cette vis porte un colet qui eſt retenu au bout du chaſſis *B* par la plaque 9 attachée par trois vis ; ainſi le coulant ſe meut ſelon le ſens dont on fait tourner la vis de rappel : pour empêcher le coulant *Q Q* de s'écarter du chaſſis *B*, le talon qui paſſe dans la fente 7, 8, porte une vis prolongée qui entre dans l'écrou *V* ; ainſi en ſerrant cet écrou, on fixe très-ſolidement le coulant après le chaſſis.

2311. L'arbre *F* de la plate-forme eſt percé dans toute ſa longueur, d'un trou propre à y faire entrer les taſſeaux *A* & *B* (*fig.* 3) : le trou de l'arbre doit être fait avec beaucoup de ſoin ; & il ne ſuffit pas de l'agrandir avec un équarriſſoir, il faut de plus le faire entrer ſur une eſpece d'arbre liſſe mis ſur le tour ; on introduit de la pierre à l'huile broyée, & on fait rouler l'arbre liſſe pendant qu'on retient l'arbre de la plate-forme, & juſqu'à ce que le trou de celui-ci ſoit parfaitement uni & droit : on appelle cette opération *roder* un trou.

2312. Quand le trou eſt parfaitement rodé, alors on peut tourner l'extérieur : pour cet effet, après avoir nettoyé l'arbre liſſe & le trou de l'arbre, il faut rendre l'arbre liſſe fixe ſur le tour, & mettre l'archet ſur l'arbre de la plate-forme ; on tournera celui-ci, & par ce moyen on ſera aſſûré que le trou eſt parfaitement concentrique au-dehors de l'arbre.

2313. Le taſſeau eſt retenu après l'arbre de la plate-forme par la clavette *X* qui traverſe l'arbre & le taſſeau ; cette clavette paſſe dans la fente pratiquée à l'un & l'autre, comme

on le voit en *C* (*fig.* 3) : le bas de cette fente eſt angulaire, & le deſſous de la clavette eſt de même figure ; c'eſt pour empêcher que le taſſeau ne puiſſe tourner ſéparément de l'arbre. La preſſion de la clavette ſur le fond de la fente du taſſeau eſt produite par un écrou *Y* (*fig.* 1) : qui entre ſur la vis faite en *Y* à l'arbre *F* : cette vis doit ſe faire ſur un *tour à vis.*

2314. L'arbre de la plate-forme ainſi préparé, il eſt à propos, lorſque la vis *Y* eſt formée & la fente de la clavette faite, de roder encore le trou, afin d'ôter les bavures &, pour le dreſſer, au cas qu'en faiſant la vis, on l'eût courbé ; il ne reſte enſuite qu'à fixer au bout inférieur de l'arbre un tampon bien ajuſté qui porte la pointe conique qui doit aller rouler ſur le trou conique fait à la vis *H.*

2315. *W* eſt un contre-écrou qui ſert à empêcher la vis *H* de ſe deſſerrer lorſqu'on a donné le jeu convenable à l'arbre de la plate-forme.

2316. On a pratiqué ſur l'arbre *F* en deſſous de la clavette un cuivrot *Z* qui ſert à faire tourner cet arbre avec un archet, lorſqu'on veut centrer les roues de rencontre pour les fendre *enarbrées* : nous expliquerons cela ci-après.

2317. Pour fixer les roues de montres ſur leurs taſſeaux, on ſe ſert de deux moyens ; le premier, c'eſt par des taſſeaux à vis pareils à ceux des pendules ; le ſecond, c'eſt par la ſimple preſſion d'un levier ſur un petit cône ou *pain de ſucre* ; nous en avons expliqué la diſpoſition (434) ; la figure 2 repréſente ce levier placé dans ſa chape ; la vis *A* entre dans un trou fait en deſſous de *A A* (*fig.* 1), dans le chaſſis ; ce trou ne peut être vu, parce qu'il eſt recouvert par la piece *A A* qui porte l'*H* à tailler les roues de cylindre : tout cet ajuſtement *A A*, *B B*, *C C* qui ne ſert que pour les roues de cylindre, s'ôte de deſſus la plate-forme quand on veut fendre les roues ordinaires & de rencontre.

2318. Le chaſſis *A* eſt prolongé, & porte la partie *K* ſur laquelle eſt ajuſté le rouleau *K* qui ſert à recevoir le bout *A* du levier (*fig.* 2) ; l'autre bout *B* du même levier porte un point conique dans lequel entre la pointe du pain

de ſucre *d* (*fig.* 3): la preſſion de ce levier eſt produite par la vis *C* (*fig.* 2); c'eſt cette preſſion qui fixe la roue que l'on peut fendre entre les baſes *c* & *d* du taſſeau (*fig.* 3).

2319. Le taſſeau *A* (*fig.* 3) eſt d'acier; il eſt percé dans toute ſa longueur d'un trou propre à recevoir le petit taſſeau *D*; la partie conique *a* des taſſeaux *A* & *B* entre ſur le bout de l'arbre de la plate-forme qui eſt auſſi tourné en cône (*a*); par ce moyen la preſſion de la clavette centre toujours parfaitement les taſſeaux.

2320. Le trou du taſſeau *A* eſt rodé de la même maniere que celui de l'arbre de la plate-forme; & le dehors eſt tourné par la même méthode; le bout *b* du taſſeau eſt rendu conique, lorſque le taſſeau eſt attaché ſur l'arbre de la plate-forme; & en faiſant rouler celui-ci, comme nous venons de le dire dans la note de l'art. 2319.

2321. Le taſſeau *D* (*fig.* 3) eſt d'acier trempé & tourné parfaitement rond; la petite baſe *c* eſt taillée comme une lime, ainſi que le deſſus *d* du pain de ſucre. Par ce moyen la preſſion du levier (*fig.* 2) fixe très-ſolidement la roue. La partie conique *e* du taſſeau *D* entre ſur le bout conique du trou *b* du taſſeau *A*; ainſi ces taſſeaux étant ajuſtés avec les précautions indiquées, les roues ne peuvent manquer de ſe trouver parfaitement concentriques à la plate-forme. On voit que le ſeul frottement du cône retient le petit taſſeau *D* ſur celui *A*; mais cela eſt ſuffiſant, & l'ajuſtement eſt infiniment préférable aux petits taſſeaux ajuſtés quarrément dont on faiſoit uſage ci-devant; & d'ailleurs ces petits taſſeaux tournés ſont très-faciles à faire: on en a de diverſes grandeurs, ſelon le diametre des roues plates que l'on a à fendre.

2322. Pour fendre les roues de rencontre enarbrées, on ſe ſert d'un taſſeau (*fig.* 11) qui ne porte point de tige, comme celui *B* (*fig.* 3); il eſt au contraire percé pour

(*a*) Pour former ce cône du bout ſupérieur du trou, il faut attendre que l'arbre ſoit ajuſté dans le chaſſis; alors faiſant tourner l'arbre par un archet dont la corde paſſe ſur le cuivrot *Z*, cet arbre ſera comme un arbre en l'air: on attachera le chaſſis à l'étau avec un ſupport; & avec un burin on figurera la partie conique qui ſera parfaitement concentrique à l'arbre.

y laiſſer entrer le pignon & la tige de la roue de rencontre : pour fixer la roue ſur ce taſſeau, on ſe ſert d'excellente cire d'Eſpagne ; on fait chauffer le taſſeau juſqu'à ce que la cire ſoit fondue, & on poſe la roue deſſus, on l'appuie de ſorte qu'il ne reſte pas de cire entre la baſe du taſſeau & le deſſous de la roue ; & pour le mieux, il faut que la cire ne faſſe qu'entourer le bas du champ de la roue ; pendant que le taſſeau eſt chaud, on le place ſur la plate-forme qui eſt attachée à l'étau par ſon talon *I* ; ainſi ſa poſition eſt horizontale : on poſe ſur le chaſſis le pont (*fig.* 10) en place de *A A* (*fig.* 1) qui doit être ôté : on met un archet ſur le cuivrot *Z*, on fait poſer le bout *A* de la tige *A B* (*fig.* 10) ſur le bout du pivot : la preſſion du poids *B* contient la roue de rencontre appliquée ſur ce taſſeau, ce qui la maintient droite. Pour la centrer, on appuie avec une pointe contre le champ de la roue, pendant qu'avec l'autre main on fait tourner la plate-forme avec l'archet ; par ce moyen la roue tourne parfaitement rond, & devient concentrique à l'arbre de la plate-forme ; mais pour que la roue ſe centre ainſi, il faut que la cire ſoit chaude ; pour cet effet, il faut que la machine ſoit toute préparée quand on place le taſſeau échauffé : au reſte on peut aiſément faire chauffer le taſſeau tout monté ſur la plate-forme, ſe ſervant pour cela d'une petite bougie, & prenant garde ſur-tout que la flamme n'aille pas donner ſur la roue, ce qui l'amolliroit ; quand la roue eſt fendue, on fait chauffer le taſſeau pour en ſéparer la roue ; & pour ôter la cire qui s'eſt attachée à la roue, il ne faut que jetter celle-ci dans de l'eſprit-de-vin.

2323. Le trou du chaſſis qui ſert à recevoir la vis *A* de la chape (*fig.* 2), ſert auſſi à recevoir la vis qui fixe le pont *C* (*fig.* 10) après le chaſſis.

2324. La figure 6 fait voir le développement de l'alidade. La piece *A* de cuivre ſe fixe par une vis au montant *B C* du chaſſis (*fig.* 1) ; cette piece *A* (*fig.* 6) eſt fendue en *B* pour recevoir la piece d'acier coudée, ou porte-alidade *C D* ; celle-ci tourne autour du centre *a*, y étant re-

tenue par une vis à portée qui entre très-juſte dans le trou fait à la piece coudée *C D* : cette vis entre dans le trou taraudé *a* ; ainſi la preſſion de cette vis fait mouvoir le porte-alidade *C D* à frottement ſur la piece *A* : le bout taraudé *E* de l'alidade *E F* entre dans le trou de l'écrou *G* ; la partie *b* de cet écrou entre juſte dans le trou *c* du porte-alidade *C D* ; & cet écrou porte la rainure *d*, dans laquelle entre la clavette *H* ; cette clavette s'applique contre le dedans *e* du porte-alidade, après lequel elle eſt retenue par des goupilles qui entrent dans les trous 1, 2 faits en *H*, & 3, 4 faits en *C*, enſorte que l'écrou *G* ne peut que tourner ſans s'écarter du porte-alidade : ainſi en tournant cet écrou, on fait mouvoir l'alidade *E F* ſelon ſa longueur.

2325. Pour rendre l'alidade inébranlable ſur la piece coudée *C D*, en ne lui laiſſant que la faculté de ſe mouvoir ſelon ſa longueur, elle eſt retenue en *D* par une vis à aſſiette qui entre très-juſte dans la fente *I* : cette vis entre dans le trou *D* ; ainſi la preſſion de cette vis fixe l'alidade ſur l'appui *D*, le bout *E* eſt retenu par l'écrou dans le trou *c*.

2326. La vis *K* eſt terminée en pointe pour poſer dans les points du diviſeur : on change, comme on veut, la preſſion de l'alidade contre les points du diviſeur, en tournant cette vis *K* d'un ou d'autre côté; le contre-écrou *L* ſert à arrêter la vis au point convenable, pour la tenſion de l'alidade.

2327. Voilà ce qui concerne la machine ordinaire pour fendre les roues plates & les roues de rencontre enarbrées : il nous reſte à décrire le méchaniſme de cet outil qui ſert à tailler les roues de cylindre.

2328. Pour bien concevoir ce méchaniſme, il eſt à propos de ſe repréſenter la forme d'une roue de cylindre. Pour cet effet, il faut jetter les yeux ſur les figures 1 & 2 de la XVe planche où l'on a repréſenté fort en grand une roue de cylindre en perſpective, & de profil ; enfin les figures 8 & 12 de la planche XXXVI font voir de profil une roue de cylindre prête à tailler ; & la figure 9 repréſente la même roue en plan : elle eſt vue avec les différentes

gradations qu'elle reçoit lorſqu'on l'exécute. Comme il eſt néceſſaire d'entendre ces gradations d'exécution pour bien concevoir le méchaniſme qui ſert à cela, nous allons les décrire.

2329. Dans la figure 8, *a b* repréſente le dehors de la roue vue de profil; la partie ſaillante *a a* eſt l'épaiſſeur qui doit ſervir à former les dents ou plans inclinés, & *b b* eſt ce qui forme les colonnes (on appelle plan incliné ou dent la partie *a b*, (*Planche XV fig.* 1), & *e* eſt la colonne); la figure 12, (*Planche XXXVI*) fait voir la coupe de la roue par ſon diametre; ainſi on voit les dimenſions de toute la roue; l'épaiſſeur *a* du fond, l'épaiſſeur *b c* qui doit former les colonnes; & enfin la largeur *d e* des dents. Lorſque la roue eſt tournée ſelon cette figure, on fait les croiſées, comme on le voit (*fig.* 9); on agrandit le trou de maniere à le faire entrer très-juſte ſur la tige *b* du taſſeau * *B* (*fig.* 3); le côté vu (*fig.* 9) doit être le deſſus de la roue lorſqu'on veut la fendre; on recouvre la roue avec la plaque *c* (*fig.* 3), & on fixe la roue avec quatre vis: la roue fixée ſur le taſſeau, on place celui-ci ſur l'arbre de la plate-forme; on met en place l'*H* (*fig.* 5); on ajuſte ſur le porte-fraiſe *A* une fraiſe mince qui ait pour épaiſſeur environ $\frac{1}{10}$ de la longueur que doit avoir le plan; on fend la roue comme une roue plate; on prend un nombre quadruple de celui des dents qu'elle doit avoir, c'eſt-à-dire, que ſi elle a 13 dents, il faut ſe ſervir du nombre 52; on fera 26 fentes (par la raiſon que la dent de la roue doit être alternativement logée dans le cylindre, & celui-ci dans l'intervalle des dents de la roue): il ne faut pas trop enfoncer ces fentes de la roue; mais il faut qu'il reſte, comme on le voit en *a* (*fig.* 9), une épaiſſeur qui ſervira à ſoutenir la roue pendant qu'on la taillera; on fendra ainſi tout le tour de la roue, & elle prendra la figure telle qu'on la voit dans la partie 1, 2, 3 (*fig.* 9).

* Il faut avoir des taſſeaux de pluſieurs grandeurs, afin qu'ils anticipent ſur le champ de la roue, pour l'empêcher de ſe courber en la taillant, ce qui ne manqueroit pas d'arriver, ſi elle n'étoit ſoutenue que par les croiſées.

Cela fait, on changera la fraiſe mince, & on en mettra une qui ſoit plus épaiſſe que l'intervalle entre 1 & 2 de la roue ; c'eſt de cette fraiſe dont on fera uſage pour former les plans inclinés des dents. Pour cet effet, il faut 1°, avancer la plate-forme d'une diviſion, enſorte que la fraiſe ſe préſente dans le milieu de la dent ; on fera à cette dent une petite marque propre à la diſtinguer ; 2°, il faut incliner la piece *OP* (*fig.* 1) de la moitié du nombre de degrés de levée que doit produire une dent ſur une levre du cylindre : ſi, par exemple, on veut que la levée totale de l'échappement ſoit de 40 degrés, la levée par une dent ſur une des levres du cylindre ſera de 20 degrés ; ainſi il ne faudra incliner l'*H* que de 10 degrés, & ainſi de ſuite pour toute autre levée ; enfin cela étant ainſi préparé, on fera mouvoir le porte-fraiſe ſelon ſa longueur, juſqu'à ce que la fraiſe ſe préſente vis-à-vis la dent marquée ; alors on coupera avec la fraiſe, & on formera les plans inclinés, comme on le voit en 4 & 5, &c (*fig.* 9) ; on fera ainſi tout le tour de la roue, mais on ſe diſpenſera d'incliner toutes les dents, & ſeulement de deux l'une ; car il eſt inutile de travailler les dents qui doivent former les vuides ou ſéparations entre chaque dent : on *ſautera* donc pour chaque dent quatre points du diviſeur.

2330. Les plans inclinés ainſi faits, il faut former les vuides 6, 7, *a*, &c. Pour cet effet, voici ce que l'on a imaginé, & c'eſt ici où commence l'uſage de l'*H*, *B B*, *C C* porté par la potence *A A* (*fig.* 1) : *a b* eſt un petit arbre en l'air porté par l'*H*, *B B* ; cet arbre porte une fraiſe cylindrique *c* qui ne coupe que par ſa circonférence ; cette fraiſe doit avoir pour diametre l'intervalle *b c* (*fig.* 9), moins l'épaiſſeur convenable pour la colonne *d* ; c'eſt cette fraiſe qui forme les intervalles 6, 7, &c (*fig.* 9) ; l'*H* eſt mobile ſur deux vis *d*, *e* (*fig.* 1) dont les pointes entrent dans les points *a*, & l'oppoſé *b* faits à la boîte *A* (*fig* 4) ; cet *H* décrit par ſon mouvement un petit arc qui ſert à produire l'enfoncement entre les colonnes ; cet arc doit être dirigé au centre de la roue ; ainſi il faut que la poſition de l'*H* ſoit telle que la ligne qui paſſe par le centre

de l'arbre en l'air *a b*, & des vis *d*, *e*, ſoit perpendiculaire au rayon tiré de *c* au centre de la roue. Pour faciliter cette condition, ſelon que les roues ſont plus ou moins grandes, la boîte *A A* (*fig.* 1) peut ſe mouvoir ſelon la longueur du chaſſis. On voit que ſi le petit arc décrit par l'*H*, pour l'enfoncement des vuides de colonne, ne tendoit pas au centre de la roue, les colonnes ſe feroient à rochet; le bout de la fraiſe doit être formé plat & uni, afin de ne pas couper, il faut qu'il approche tout contre le fond *a k* (*fig.* 9) qui fait l'épaiſſeur du plan : pour approcher ou écarter le bout de la fraiſe du côté du plan ; l'*H*, *B B* s'éleve ou s'abaiſſe perpendiculairement à la roue ; pour cet effet la potence (*fig.* 4) porte la boîte *A* qui ſe meut ſur la branche *C*, au moyen de la vis de rappel *D D*; le tenon *E* dans lequel entre la vis de rappel ſert en même temps à recevoir le bout de la vis *E E* (*fig.* 1); c'eſt cette vis qui regle l'enfoncement du vuide des colonnes. Cela entendu, on concevra facilement le reſte de cette opération ; & voici ce que l'on fera avant de commencer à former les vuides des colonnes : on fera mouvoir la vis de rappel *D D*, afin de faire paſſer le bout de la fraiſe au-deſſus du plan ſupérieur de la roue ; en cet état, on fera mouvoir la vis *E E*, de maniere que le diametre de la fraiſe paſſe par l'extrémité de la circonférence 4, 5 (*fig.* 9) qui fait le ſommet des colonnes ; on arrêtera la vis *E E* (*fig.* 1) par ſon contre-écrou *F F*: cela fait, on fera mouvoir le rappel de l'alidade, juſqu'à ce que le bord de la fraiſe paſſe par le derriere du ſommet du plan incliné *e b* (*fig.* 9); on voit ſi dans cette poſition la partie *d* qui doit reſter en *d* pour la colonne de *d e* eſt trop grande ou trop petite; on change de fraiſe ſelon qu'il en eſt beſoin ; le tout ainſi préparé, il ne reſte plus qu'à faire couper la fraiſe; pour cet effet, il faut faire redeſcendre la fraiſe par la vis de rappel *D D* (*fig.* 1) & de ſorte que le bout de la fraiſe aille frotter contre le bord de la dent ; on met un archet ſur le cuivrot de l'arbre *a b*, & on coupe juſqu'à ce que le bout de la vis *E E* poſe ſur le talon de la boîte qui porte l'*H*, c'eſt-à-dire, que le milieu de la fraiſe paſſe par la circonférence *e d* (*fig.* 9);

on ſautera quatre points, & on fera un ſecond intervalle, & ainſi de ſuite.

2331. Cela ainſi fait, la roue pourroit être regardée achevée par l'outil ; mais dans ce cas, les colonnes *d*, *f*, &c, reſteroient quarrées, & l'uſage eſt de les arrondir, comme on le voit en *g*, *h* & *i*, & cela eſt ſur-tout néceſſaire pour écarter cette colonne du plan incliné, & l'empêcher d'y toucher ; & c'eſt pour concourir à ce but qu'eſt fait l'enfoncement *b* (*fig.* 12) : pour donc arrondir les colonnes, il a fallu trouver un moyen de le faire ſur l'outil, afin de rendre l'opération plus ſûre & plus abrégée ; & voici comment on y eſt parvenu : c'eſt encore au moyen de l'arbre en l'air, & d'une fraiſe cylindrique fort douce ; mais au lieu que cet arbre eſt emporté par l'*H* pour décrire la portion de cercle requiſe pour l'enfoncement du vuide des colonnes, il a un mouvement particulier par lequel il peut décrire autour de la colonne un arc d'un très-petit cercle, & cela eſt produit par une couliſſe qui porte cet arbre ; cette couliſſe eſt attachée ſur l'arbre *f* (*fig.* 1) qui ſe meut ſur les bras *g* & *h* de l'*H*; cet arbre porte une vis de rappel *k* qui fait mouvoir le lardon *k l* qui porte un point conique ſur lequel ſe meut le bout du petit arbre *a b* ; ce lardon *k l* porte la branche fixe *m* ſur laquelle entre la boîte *n x*: cette boîte eſt percée en *x* d'un trou conique, dans lequel entre le bout de l'arbre ; ainſi cet arbre ſe meut dans la cage formée par le lardon & ſa boîte, d'où l'on voit qu'en faiſant écarter ou approcher le point conique du lardon du centre de l'arbre *f*, ſi l'on fait mouvoir cet arbre *f*, le petit arbre *a b* décrira un cercle plus ou moins grand ; c'eſt donc du chemin que l'on fait faire au lardon *k l* que dépend l'excentricité de l'arbre *a b* ; ſi donc en même temps que l'on fait tourner le petit arbre avec un archet, on fait décrire à celui *f* une portion de cercle, & que la fraiſe appuie ſur l'extrémité de la colonne, on voit que celle-ci s'arrondira & plus ou moins, ainſi qu'on le voudra. Pour faire décrire à l'arbre *f* la portion de cercle requiſe pour tourner autour du ſommet de la colonne, on ſe ſert de la vis *G G* attachée au pivot de cet arbre *f*

qui entre dans le bras *h* de l'*H*; & pour régler le chemin ou portion de cercle décrite par cet arbre, ſa tige porte entre les bras *g*,*h* un canon ſur lequel eſt rivée une oreille *o*;ſur celle-ci s'ajuſte une ſeconde oreille *p* qui s'arrête ſur la premiere avec la vis de preſſion *q*; ces oreilles vont battre contre la partie *r* de l'*H*; ainſi plus l'angle compris entre ces deux oreilles eſt grand, & plus auſſi la portion de cercle décrite par l'arbre *f* eſt grande *.

2332. Le canon qui porte l'oreille *o* peut tourner ſéparément de l'arbre *f*; on les fixe l'un avec l'autre par la vis de preſſion *s*; on ſe ſert de ce mouvement pour régler l'arrondiſſement de la colonne, c'eſt-à-dire, pour amener l'arbre, ou porte-fraiſe, de ſorte que lorſqu'elle eſt à l'extrémité de la colonne, la portion de cercle qu'elle décrit de côté & d'autre ne coupe pas plus un angle de cette colonne, qu'elle ne fait l'autre.

2333. Quand les colonnes ſont ainſi arrondies, on peut les polir, ſe ſervant pour cela d'une fraiſe cylindrique non taillée : on peut en faire autant pour les vuides des colonnes.

2334. Pendant toutes les opérations que nous venons d'indiquer, les fonds *a* des dents ſont reſtés tels qu'on les voit en *a*(*fig.* 9), afin de tenir la roue ſolide; & lorſque les colonnes ſont arrondies, on acheve de couper les ſéparations *k l*. Pour cet effet, on ôte la roue de deſſus l'outil, & on prend une ſcie mince, appuyant le deſſous ſur un bois pour ne rien courber, & les dents reſtent, comme on le voit, en *g*, *h*; enfin le bout de la dent *h* reſtant trop large, on limera en dedans la dent *i m*, de ſorte que le bout *m* devienne, comme on le voit dans la figure; on arrondira enſuite légerement le bout *m* du plan incliné; il reſtera enfin à adoucir les plans inclinés,& à ôter les bavures quel'outil a faites; on achevera les croiſées, & la roue ſera prête à enarbrer.

* Lorſque l'on fait les vuides des colonnes, on ferme entiérement ces oreilles, de maniere qu'elles embraſſent juſte l'épaiſſeur de l'*H*; par ce moyen le petit arbre ne peut tourner que ſur lui-même, & ſans être emporté par le mouvement excentrique, lequel n'a plus lieu pendant que les oreilles ſont ainſi fermées.

2335. Les figures 7 & 13 font voir le développement de l'*H*, *B B* qui ſert à tailler les roues de cylindre. *A B* eſt le corps de l'*H*; *a b*, les bras qui reçoivent les vis *d e* (*fig.* 1), & qui s'aſſemblent, comme j'ai dit, ſur la boîte *A* (*fig.* 4); *g*, *h*, (*fig.* 7) ſont les bras ſur leſquels ſe meut l'arbre *C D*; cet arbre *C* eſt d'acier; ſa tige entre dans les trous des bras *g*, *h*; celui *g* eſt conique en *i* pour recevoir la partie conique *k* de l'arbre; l'arbre entre par *i*, & le bout *l* roule dans le trou *h*. Pour retenir cet arbre ſur l'*H*, en ne lui permettant que de tourner ſur lui-même, on fait entrer ſur le bout ſaillant *m* le bouton conique *n*; celui-ci porte une cheville qui entre dans une fente faite au bout de *m*; ainſi l'arbre & le bouton ne peuvent pas tourner ſéparément l'un de l'autre; le bout *m* eſt percé d'un trou taraudé, dans lequel entre la vis *o*; on ſerre plus ou moins cette vis, & de ſorte que l'arbre *C* n'ait point de jeu ſur ſa longueur; la partie conique *n* entre ſur le bout du trou *h*, auſſi rendu conique.

2336. L'arbre *C* eſt formé d'une ſeule piece avec la baſe *D E*; c'eſt ſur cette baſe ou roue tournée parfaitement droite & ronde que s'ajuſte la couliſſe ou lardon qui porte l'arbre à fraiſe *F G*; le lardon *H K I* eſt d'acier trempé, & d'une ſeule piece; ſa baſe *K* s'applique contre celle *L* de l'arbre; le lardon eſt recouvert par la piece de cuivre *M* (*fig.* 13); celle-ci eſt entaillée dans ſa longueur, pour y faire entrer très-juſte le lardon *H K*; la piece *M* ſe fixe ſur la baſe *L* au moyen de deux vis & de deux tenons 1, 2 fixés à la baſe *L*; par ce moyen le lardon eſt rendu très-fixe ſur la baſe *L*, & il ne peut ſe mouvoir que ſelon la rainure faite à la piece *M*: on ſe ſert pour cela de la vis de rappel *N* dont la tête *p* entre dans l'entaille *q* du lardon.

2337. Sur la branche *I* du lardon, entre très-juſte la boîte *O P*, & on la rend fixe ſur cette branche avec la vis *r*; le trou *P* de la boîte eſt conique, ainſi que le bout *G* de l'arbre *F G* qui doit y rouler; la pointe *s* de l'arbre *F G* doit rouler dans un point conique fait au lardon. Pour marquer ce point, il faut avoir attention de le placer dans le diametre de la baſe

L,

L, afin qu'en faiſant mouvoir la vis de rappel, ce point puiſſe devenir parfaitement concentrique à l'arbre.

2338. L'arbre ou porte-fraiſe *F G* eſt d'acier trempé ; il doit être percé dans toute ſa longueur, comme on a fait l'arbre de la plate-forme ; la pointe *s* doit être rapportée : par cette diſpoſition, les petites fraiſes *Q* pourront être tournées ſéparément, & miſes dans l'arbre, elles tourneront rond ; ces fraiſes ſont rendues fixes ſur l'arbre *F G* au moyen de la vis *t*.

2339. La piece *A B C* (*fig.* 13) repréſente les deux oreilles qui s'ajuſtent en *C* ſur l'arbre *C D* (*fig.* 7); *A* (*fig.* 13) eſt le canon ſur lequel eſt rivée l'oreille *B* ; *C* eſt l'autre oreille appliquée contre la premiere ; elle peut tourner ſéparément, ce que permet l'ouverture dans laquelle paſſe la vis *D* qui ſert à les fixer enſemble ; la vis *R* ſert à fixer le canon ſur l'arbre *C*.

2340. La potence *B C* (*fig.* 4) ſe fixe ſur le chaſſis de la plate-forme au moyen des vis *L L*, *M M* (*fig.* 1) & du lardon *N N*, vu (*fig.* 14) ; ce lardon porte une vis de preſſion *O O* (*fig.* 1) ; la partie *A A* de la potence eſt faite en fourchette, ce qui permet de l'ôter facilement de deſſus le chaſſis ; il ne faut que retirer les vis *L L*, *M M*, & on ôte la potence, ainſi que les pieces qu'elles portent, leſquelles ne ſervent que pour former le vuide des colonnes, & pour les arrondir.

De l'Outil à tailler les fraiſes pour exécuter les Roues de cylindre.

2341. Les fraiſes dont on ſe ſert pour former les vuides des colonnes de roues de cylindre ſont cannelées ſelon leur longueur, ou plutôt elles forment des eſpeces de cylindres taillés en rochet : pour tailler ces fraiſes, on a imaginé l'outil repréſenté planche XXXVIII, fig. 32. La piece de cuivre *A B C* qui s'attache à l'étau par la patte *A*, porte en *B* une eſpece d'*H*, *D* ; & celle-ci une ſeconde *I F G* dont les bras *F*, *G* portent un arbre en l'air *H*, ſur lequel s'ajuſte une fraiſe à rochet *a* qui ſert à canneler les fraiſes cylindriques pour les roues de cylindre. La vis *I* qui regle l'enfoncement des dents de la fraiſe, poſe ſur le plan *K* parallele à l'axe de la fraiſe *L* ;

ainſi le double mouvement des deux *H* permet de promener le porte-fraiſe *E F* ſelon la longueur de la fraiſe *L*; pendant ce mouvement on fait couper celle *a* au moyen d'un archet dont la corde paſſe ſur le cuivrot *H* pour faire tourner le porte-fraiſe : la roue dentée *M* entre à force ſur le bout de la fraiſe *L*, & celle-ci ſe meut ſur ſes pointes, l'une dans le pont *N*, & l'autre ſur la broche *O*; cette roue ſert à rendre les dents de la fraiſe égales entr'elles, & on les fait auſſi fines que l'on veut, ce qui dépend du nombre que l'on emploie; le reſſort *P* fait l'office d'alidade.

De l'exécution de l'échappement à Cylindre.

2342. La deſcription que nous venons de donner de la machine à fendre les roues de montre nous a entraînés à parler de la maniere dont on taille les roues de cylindre, ce qui forme une partie eſſentielle de l'exécution de cet échappement; mais comme il y a différents ſoins qui regardent cette roue, & dont nous n'avons pas parlé, nous allons la reprendre dès ſon origine.

2343. Pour faire une roue de cylindre, on ſe ſert de cuivre de chaudiere le plus pur que l'on peut trouver; il eſt préférable pour nos montres parce qu'il eſt plus ductile que le laiton ordinaire; il eſt moins poreux, plus pur, cauſe moins de frottement, ſe ronge difficilement; il faut prendre ce cuivre fort épais afin de pouvoir le rendre bien dur en l'écrouiſſant; il faut l'amener au marteau à l'épaiſſeur que doit avoir la roue. La grandeur de la roue eſt déterminée par la poſition des roues du calibre, c'eſt-à-dire, par la diſtance du centre de la roue de cylindre au centre du balancier : il faut que la roue ſoit plus grande que cet intervalle, parce que, comme je l'ai dit (412), la poſition du cylindre doit être dans le milieu de la hauteur du plan incliné : quant à l'épaiſſeur de la roue, elle dépend de la force qu'elle doit avoir à ſa circonférence, puiſque, comme je l'ai dit (2292), l'épaiſſeur des dents doit être proportionnelle à cette force; par exemple, dans une roue à 30 heures, dont la force motrice eſt

de 6 gros, ou la force à la circonférence de la roue de 9 grains, l'épaiſſeur de la dent doit être d'environ $\frac{1}{12}$ de ligne; l'épaiſſeur du fond de la roue & la hauteur des colonnes doivent être relatives à l'épaiſſeur des dents : on peut au reſte avoir des dents épaiſſes & des colonnes peu élevées, lorſque la place de la montre ne le permet pas : il ſuffit que ces colonnes ſoient aſſez élevées pour écarter la dent du fond de la roue, de maniere que la levre *a* du cylindre (*Planche XV, fig.* 1) ne puiſſe y toucher, & que cependant la traînée de l'épaiſſeur de la dent ſe faſſe en plein ſur la levre; cela entendu, on tournera la roue ſelon ces dimenſions, & ſelon la figure indiquée (*Planche XXXVI, fig.* 12); il faut obſerver que la largeur *d e* n'eſt pas arbitraire, elle dépend de la longueur que les plans inclinés auront, parce qu'il faut que cette partie ſe loge dans le cylindre ſans y toucher : il ne faut pas la faire trop étroite, car il en réſulteroit deux défauts; le premier, c'eſt que la premiere fente que l'on fait en taillant la roue, couperoit entiérement ce bord, & lui ôteroit le ſoutien des dents pendant qu'on les forme; le ſecond, c'eſt que les colonnes ſeroient trop minces : il vaudroit donc encore mieux pécher par trop de largeur de bord, que par trop peu; on en ſeroit quitte pour ôter du dedans de ces colonnes, quand l'échappement eſt fait; mais pour peu que l'on acquiere de pratique, on évitera ces deux défauts.

2344. La roue ainſi tournée, on la fendra ſelon les méthodes que nous avons indiquées ci-devant : on l'adoucira, & elle ſera prête à être enarbrée.

2345. Dans une montre ſimple à cylindre, dont la cage eſt haute, l'élevation de la roue de cylindre dans la cage n'eſt point arbitraire; car cette élévation doit être relative à la force que cette roue a à ſa circonférence, au poids du balancier & à la poſition du balancier ſur la longueur de ſon axe, & cela afin de répartir également la preſſion ſur chaque pivot : ſi par exemple, le balancier peſe 12 grains, & qu'il ſoit placé au quart de la longueur de l'axe, & que la force à la circonférence de la roue ſoit de 6 grains; alors pour que les preſſions ſur chaque pivot

ſoient égales, il faut que la roue agiſſe à l'autre bout de l'axe un peu moins que le quart de la longueur de l'axe, & ainſi des autres.

2346. On enarbrera la roue ſur ſon pignon en lui donnant la hauteur convenable, & ayant attention que les points des plans inclinés ſoient dirigés ſelon le côté où tourne la roue; on rivera la roue, & ſi on a bien opéré, elle doit ſe trouver parfaitement ronde; mais on ne fera pas mal, quoiqu'il en ſoit, de friſer l'extrémité des plans inclinés.

2347. La roue étant enarbrée, on fera le cylindre. Pour cet effet, on prendra d'excellent acier quarré d'Angleterre; car je ne penſe pas que l'acier tiré ſoit bon; je crois qu'il doit ſe corrompre en paſſant à la filiere; l'acier doit être aſſez gros pour qu'étant tourné il entre juſte dans l'intervalle *n o* (*fig. 9*); on ſe réglera pour la longueur du cylindre, ſur la hauteur qu'il y a depuis le talon de potence juſqu'au deſſus de la petite platine: on coupera un bout d'acier, & on le percera avec un foret qui ſoit un peu plus petit que la dent *p n*; on aggrandira ce bout d'acier pour le cylindre avec un équarriſſoir bien fait, peu en pointe, & faiſant entrer l'équarriſſoir par chaque bout du cylindre, on aggrandira ainſi le trou du cylindre juſqu'à ce qu'une dent de la roue y entre librement, mais avec peu de jeu; cela fait, on le fera entrer ſur un arbre liſſe, bien rond, & on tournera le dehors cylindrique, & juſqu'à ce qu'il entre librement dans l'intervalle *n o* de la roue.

2348. Quand le cylindre eſt ainſi tourné, il faut en faire l'entaille: voici par quel moyen on doit en régler l'ouverture. On laiſſera le cylindre ſur l'arbre liſſe, & en cet état on l'ajuſtera ſur le tour décrit (497 *& ſuiv.*), (ce tour eſt vu Pl. XIX, fig. 6): on arrêtera la pointe de l'arbre liſſe avec la pincette *a b*, ayant attention que la pointe de l'arbre poſe au centre de la plate-forme *B*; on approchera le ſupport *V* tout contre le cylindre; on fera poſer la pointe de l'alidade ſur le nombre 360, & avec une lime tranchante, on fera un trait ſur la longueur du cylindre; on fera faire un demi-tour à la plate-

forme, & on marquera un trait leger pour déſigner le diametre du cylindre; de ce point, on avancera la plate-forme d'autant de degrés, comme on veut en donner de levée: ſi l'on veut que chaque dent leve 20 degrés, on fera avancer le diviſeur de 20 degrés, & on tracera un trait ſelon la longueur du cylindre; l'intervalle qu'il y a depuis ce trait, juſqu'au premier que l'on a fait, marque la quantité d'ouverture que l'on doit donner au cylindre, pour que la roue étant placée ſelon les regles preſcrites (412), la levée par chaque levre ſoit exactement de 20 degrés; or cet intervalle eſt de 160 degrés; c'eſt-là l'ouverture du cylindre: cette ouverture ainſi marquée, on ôtera le cylindre de deſſus l'arbre, & on le mettra ſur une broche de cuivre; on fera l'entaille bien exactement, ſelon la profondeur marquée par les traits de diviſion, & on fera la longueur de cette entaille propre à y loger fort à l'aiſe l'épaiſſeur de la roue, & à l'endroit convenable dans la longueur du cylindre, c'eſt-à-dire, que le bout ſupérieur affleure avec le deſſus de la petite platine: on arrondira la tranche par où la dent entre dans le cylindre, comme on le voit en *f* (*Pl.* 15, *fig.* 2), & on fera l'autre levre *d* inclinée, comme on le voit dans la figure; cela fait, on fera une ſeconde entaille *e* (*Pl. XV. fig.* 4) à la levre qui porte le plan incliné; cette ſeconde entaille eſt néceſſaire pour donner lieu à des vibrations étendues; car ſans cela cette levre viendroit battre contre la partie *e* de la colonne (*Pl. XV*, *fig.* 1); on enfoncera cette entaille de la moitié environ de l'épaiſſeur qui reſtoit à la premiere, c'eſt-à-dire, qu'il reſte environ un quart de la circonférence du cylindre.

2349. Le cylindre ainſi préparé, ſera prêt à tremper: ce que l'on fera; on le blanchira enſuite avec de la ponce, afin de voir comment on fait revenir les deux bouts: pour empêcher l'endroit où la roue doit agir de s'amollir, on prendra cette partie avec une pince, on donnera un coup de chalumeau ſur chaque bout, afin de le faire revenir bleu.

2350. Pour polir le cylindre, on commencera par l'intérieur, ce que l'on fait de la maniere ſuivante: on prend une

broche d'acier cylindrique qui entre juſte & librement dans le trou : on prend de la pierre à huile broyée, & on promene cette broche ſelon ſa longueur dans le cylindre, & juſqu'à ce que le trou ſoit parfaitement uni ; après avoir dreſſé le dedans, on le polira avec la même broche & de la potée d'étain. Pour polir le côté extérieur, on mettra le cylindre ſur un arbre liſſe; & avec une lime d'acier, & de la pierre à huile, on l'adoucira ſur le tour, on le polira, employant de la potée d'étain.

2351. Pour polir les levres du cylindre on emmanchera le cylindre ſur une broche de cuivre qui n'entre que ſur le bout ; on ſe ſervira de petites limes non taillées, & de la pierre à l'huile ; on aura attention à ne pas changer la figure qu'on leur a donnée ; avec la lime on les polira, employant de la potée d'étain.

2352. Le cylindre ainſi préparé ſera prêt à être enarbré : pour cet effet, on fera les tampons tels qu'ils ſont vus (*Pl. XXV, fig. 5 & 6*) ; ces tampons ſont formés de chacun deux pieces ; *f n* (*fig. 5*) eſt de cuivre percé d'un trou, dans lequel on a chaſſé à force la tige d'acier *h*, ſur laquelle on doit faire le pivot ; ce tampon (*fig. 5*) eſt celui qui doit ſe fixer au bout ſupérieur du cylindre, & ſur lequel le balancier doit être rivé; le tampon (*fig. 6*) eſt fait de la même maniere, à cela près qu'il n'a pas beſoin d'aſſiette : quand on a tourné ces tampons de groſſeur propre à entrer bien juſte dans le cylindre, on coupe les bouts de ſorte qu'ils ne puiſſent pas faillir l'entaille du cylindre ; cela fait, on les chaſſe à petits coups de marteau, juſqu'à ce que ces tampons s'arrêtent par leurs portées ſur les bouts du cylindre ; quand cela eſt fait, on place le cylindre ſur le tour, & l'on voit s'il tourne rond; ſi cela n'eſt pas, on jette les pointes de côté juſqu'à ce qu'il tourne rond; on coupe ces pointes ſelon les méthodes indiquées (891); on tourne bien rond les bouts des tigerons, & on prépare l'aſſiette pour y river le balancier; on recule cette aſſiette convenablement, on rive le balancier, on leve les pivots, & enfin on met le balancier en cage.

2353. Le balancier ainſi enarbré & mis en cage, il reſtera pour achever l'échappement, à trouver la juſte poſi-

tion de la roue, relativement à ſa grandeur & inclinaiſon de ſes plans, & à l'ouverture du cylindre; or l'ouverture du cylindre eſt donnée pour produire 20 degrés de levée de chaque côté, & les plans ſont auſſi inclinés de maniere à produire la même levée de 20 degrés : donc ſi l'échappement ne leve pas 20 degrés, il faudra éloigner ou approcher la roue du cylindre : pour juger ſi la levée eſt telle, on fera ſur le bord du coq deux petits traits éloignés chacun de 20 degrés du milieu de l'intervalle entre les deux pieds du coq ; on fera auſſi un petit trait à ce point milieu ; cela ainſi fait, on mettra la roue en place ; on gênera le balancier en mettant du papier entre lui & le coq ; on fera tourner le balancier juſqu'à ce qu'une pointe des dents commence à être en priſe ſur une des levres pour opérer la levée; dans cet endroit, on fera vis-à-vis le point milieu du coq une petite marque ſur le bord du balancier ; on preſſera la roue afin qu'elle opere ſa levée; ſi l'échappement eſt bien fait, le petit trait du balancier doit parvenir juſqu'au trait marqué au coq pour la levée; ſi la levée eſt moindre, c'eſt une marque que la roue n'eſt pas aſſez proche du cylindre ; & au contraire ſi la levée ſe fait de 20 degrés juſtes, il y a lieu de croire que l'échappement eſt bien ; mais pour s'en aſſurer tout-à-fait, il faut ramener le balancier à ſon repaire ; ſi en cet état une dent de la roue ſe trouve prête à opérer la levée ſur l'autre levre, c'eſt une marque que l'ouverture du cylindre a été bien faite, & que la roue eſt dans la poſition qui lui convient ; on en fera donc les pivots, & on la mettra en cage : voilà en gros la pratique de cet échappement.

Remarque ſur la Cheville de renverſement du Balancier d'une Montre à ſecondes, à vibrations lentes.

2354. Dans les montres ordinaires, une cheville placée au balancier ſuffit pour faire le renverſement ; il n'en eſt pas de même pour celles à vibrations lentes qui ont des balanciers peſants ; car alors à cauſe de la grande inertie du balancier, ſi l'on agite un peu fortement la montre, la cheville de ren-

verſement frappera avec force contre la cheville d'arrêt, enſorte que la réaction agira ſur le pivot, & le caſſera ; pour éviter un tel obſtacle, on place diamétralement deux chevilles de renverſement qui frappent en même temps ſur deux chevilles attachées au coq ; ainſi elles reçoivent toute la force du balancier : une de ces chevilles de renverſement ſe place au bord ſupérieur du balancier, & l'autre au bord inférieur : les chevilles fixées au coq ſont élevées ; l'une pour recevoir l'effort de la cheville ſupérieure ſans empêcher le paſſage de la cheville inférieure, & le tenon qui arrête la cheville inférieure n'empêche pas non plus le paſſage de la cheville ſupérieure de renverſement : par ce moyen le balancier décrit près de 360 degrés.

De l'Outil à égaliſer les Roues de rencontre.

2355. Enfin pour achever ce qui concerne les inſtruments qui ſervent à rendre l'exécution des pieces d'horlogerie plus exacte & plus facile, nous parlerons ici d'un outil à égaliſer les dents de roues de rencontre : cet outil eſt repréſenté (*Pl. XXXVIII, fig.* 23) ; il eſt très-eſſentiel à la perfection des roues de rencontre que l'on peut rendre auſſi juſtes que l'on veut par ſon moyen : il a été imaginé par M. Crevoiſier faiſeur d'outils à Paris.

2356. La roue de rencontre *A* (*fig.* 23) ſe place entre la pointe *B* & le pont coudé *C* de l'outil, & roule ſur les portées de ſes pivots, dans les trous coniques faits à ces pointes ; *D E* eſt un arbre dont la partie *D* eſt taillée en fraiſe comme celles à roue de rencontre : on fait mouvoir cet arbre au moyen d'un archet & du cuivrot *H* qu'il porte ; il porte deux points coniques qui roulent dans les trous des vis *F*, *G* portées par les bras *H*, *E* de l'*H* ; le levier *I k L* eſt mobile en *k* ſur une vis à portée ; le bout *L* de ce levier appuie ſur le bout de la vis *M N*, y étant forcé par l'action du reſſort *o p* ; ainſi à meſure qu'on tourne la vis d'un ou d'autre côté, on fait approcher le bout *I* du levier de la fraiſe ; le levier ainſi que

la

la fraiſe ſont portés par l'*H* ou piece *P Q* qui ſe meut ſur le bout des vis 1 , 2 ; ainſi on fait approcher la fraiſe plus ou moins de la roue par le mouvement connu de l'*H*; on en regle à l'ordinaire l'enfoncement par la vis *R*. Cela entendu, voici le principe de cette machine: en appuyant ſur l'*H*; la fraiſe & le bout *I* du levier viennent s'engager dans les dents de la roue; on ſeſert du levier & de la fraiſe , comme d'un échantillon dont le devant de la fraiſe ſert à couper la quantité dont les petites dents d'une roue ſont trop rapprochées , afin de les réduire toutes à la même meſure ; or cela ne ſe fait que par le tâtonnement, comme on le verra par l'uſage de la machine.

2357. La piece *S* ſur laquelle poſent les pointes 1 , 2 de l'*H* eſt mobile ſur celle *T*, après laquelle elle eſt retenue par l'écrou *V* qui entre à vis ſur une broche portée par la piece *S* ; ainſi on donne à celle-ci l'inclinaiſon que l'on veut ; la piece *T* eſt formée ſur une boîte qui ſe meut ſur la barre prolongée *E* , après laquelle elle eſt arrêtée par une vis ; on peut avancer & reculer cette boîte ſelon la grandeur des roues de rencontre ; la piece *X* eſt coudée pour recevoir le bout de la vis *R* ; cette piece tient à la noix graduée *S* ; la partie *Y* de la barre ſert à attacher l'outil à l'étau ; 3, 4, 5, 6 ſont des écrous qui ſervent à arrêter les vis 1 , 2 , *F*, *G* ; la broche *B* eſt rendue fixe par la vis ou écrou 7 ; les vis 8 , 9 fixent la potence *C* que l'on éleve ou baiſſe à volonté , à cauſe des ouvertures dans leſquelles paſſent les vis.

2358. Pour faire uſage de cet outil, on place la roue de rencontre entre la broche *B* & le pont *C* ; alors on préſente l'*H*, on fait mouvoir la vis de rappel juſqu'à ce que la dent appuyant contre le levier *I* , le devant de la fraiſe ſoit prêt à toucher à la dent prochaine ; on eſſaie toutes les dents les unes après les autres , afin de reconnoître la plus grande dent & la plus petite ; on n'écarte pas d'abord l'outil ſelon la grande dent ; car ſi on ſe régloit ſur elle pour limer les plus petites , lorſqu'on auroit fait le tour de la roue , il y auroit une dent beaucoup plus petite que toutes les autres ; mais on ſe régle ſur les petites qu'on diminue, de ſorte que ce qu'on en ôte

pour en augmenter la diſtance, diminue d'autant les plus grandes à chaque révolution; lorſque la révolution eſt achevée, on tourne tant ſoit peu la vis de rappel *N* pour écarter le levier *I* de la fraiſe (la tête de cette vis eſt graduée afin de connoître le chemin que l'on fait faire au levier); l'on va ainſi de proche en proche, & très-inſenſiblement juſqu'à ce que la fraiſe touche également à toutes les dents. Pendant qu'avec une main on fait rouler l'arbre de la fraiſe avec un archet, de l'autre on preſſe la roue pour la faire appuyer contre la fraiſe; lorſque la dent poſe ſur le levier, alors la fraiſe ceſſe de couper.

2359. Lorſque le devant des dents eſt parfaitement égaliſé, il faut mettre la roue ſur le tour, & friſer les pointes des dents, de ſorte que le burin atteigne la plus courte; on ôte enſuite légérement les traits de la fraiſe avec une lime, & on préſente de nouveau la roue ſur l'outil pour voir ſi en limant le devant des dents, on n'a pas changé leur juſteſſe: s'il eſt beſoin, on y touchera par la méthode indiquée.

2360. Cela fait, il reſte à terminer le derriere des dents, afin de les rendre également en pointes. Pour cet effet, on ſe ſervira du côté courbe de la fraiſe; on mettra donc la roue ſur l'outil, on fera appuyer le devant de la dent contre le levier *I*, on écartera ce levier de la fraiſe juſqu'à ce que la fraiſe paſſe dans le vuide de la dent prochaine, & que le dos de la fraiſe ſoit prêt à couper le derriere de la dent, on élevera pour cela ou baiſſera l'*H* au moyen de la vis *R*; pour cet effet on ſe réglera ſur la dent la plus pointue, & de ſorte que la fraiſe ne faſſe que l'effleurer; alors on ſerrera le contre-écrou *Z*, on avancera la roue d'une dent, & avec l'archet on fera couper à la fraiſe la quantité dont cette dent eſt plus épaiſſe que la premiere: on fera la même opération à toutes les dents, & juſqu'à ce qu'elles ſoient toutes également aigues: il ne reſtera, pour achever cette roue, qu'à paſſer une lime à arrondir, très-douce, pour arrondir la pointe de la dent.

CHAPITRE XLVII.

De la conſtruction & de l'exécution d'une Montre dans laquelle on réunit tout ce qui peut contribuer à ſa juſteſſe.

2361. APRE'S avoir fait tous mes efforts pour parvenir à découvrir des principes ſur la juſteſſe des Montres, & établir une théorie qui ſerve de baſe à la conſtruction de ces machines, je crois m'être mis en état de donner à une montre quelconque la diſpoſition la plus avantageuſe, pour que cette machine meſure le temps avec toute la juſteſſe dont elle eſt ſuſceptible: il me reſte donc maintenant à traiter de la conſtruction & de l'exécution d'une bonne montre, & des détails les plus eſſentiels qui peuvent concourir à ce but : c'eſt le travail qui me reſte à faire pour terminer cet ouvrage.

2362. Je me propoſe la conſtruction d'une montre ſimple à roue de rencontre, & dont le mouvement ſoit grand, par les raiſons ſuivantes.

2363. Nous choiſiſſons une montre à roue de rencontre, parce que, 1°, nous la croyons plus propre à meſurer le temps avec préciſion (*voy.* 559 & 1902); nous obſerverons encore ici que l'échappement à roue de rencontre a un avantage eſſentiel; c'eſt qu'il produit un très-grand mouvement au balancier, avec un très-petit eſpace parcouru dans l'échappement, d'où ſuit le peu de frottement qu'il a; auſſi ne voit-on pas qu'après pluſieurs années de marche, les palettes ſoient marquées: le frottement eſt donc conſtamment le même, à moins que par accident l'huile ne ſe communique aux palettes, alors elles ſe creuſent, & la montre varie; mais ce défaut eſt facile à éviter.

2364. 2°, Parce que ces ſortes de montres peuvent être exécutées & réparées par des Ouvriers ordinaires.

2365. 3°, Parce qu'une telle montre durera beaucoup plus de temps ſans être réparée ; car l'échappement a le moins de frottement qu'il eſt poſſible;& quant aux autres frottements, nous les rendrons par notre conſtruction auſſi conſtants qu'il eſt poſſible.

2366. 4°, Nous préférons une grande montre, 1°, pour avoir, ſelon nos principes, une plus grande quantité de mouvement (1834 & 1866); 2°, parce qu'il eſt beaucoup plus facile de donner à chaque partie la perfection requiſe, non-ſeulement pour l'exécution, mais encore pour la diſtribution des pieces ; car telle conſtruction peut ſe faire en grand, qui deviendra très-difficile à pratiquer en petit ; & comme notre objet actuel ne porte que ſur l'extrême perfection, & que les difficultés que l'on ſe forge en faiſant de petites montres, ne tendent point à donner plus de juſteſſe, & ſont dès-là en pure perte, je les regarde comme défectueuſes en qualité de montre ; ce ne ſont plus que des bijoux : j'avoue cependant que ce ſont ces colifichets qui font la fortune de beaucoup d'Horlogers, & que moi-même j'en vends, mais après avoir dit ce que j'en penſe. Au reſte, ces petites montres, quand elles ſont parfaitement bien faites, vont juſte pourvu qu'elles ne ſoient pas nettoyées par de mauvais Ouvriers, & qu'il ne leur arrive pas d'accident.

Obſervations préliminaires pour ſervir à la conſtruction de la Montre, & pour tracer le Plan ou Calibre *de cette Machine.*

2367. Le calibre d'une montre eſt une plaque de cuivre de la grandeur que l'on donne à la platine des piliers ; on projette ſur ce calibre toutes les parties de la montre, roues, balanciers, deſſus de platine, &c : en un mot le calibre renferme toutes les dimenſions de la machine. Il n'y a rien de ſi commun que la fabrication des calibres ; il n'y a pas juſqu'au moindre Ouvrier qui ne ſe donne les airs d'en tracer, & il n'y

à cependant rien de plus difficile & de plus eſſentiel; car pour le faire avec intelligence, il faut avoir dans la tête tous les principes dont nous avons traité ci-devant, & il faut joindre à ces principes l'expérience, & ce n'eſt que du moment actuel que je commence à être capable de donner une bonne diſpoſition à une montre. Je ne propoſe donc encore qu'un eſſai; je ne prétends pas que mes regles ſoient toujours exactes; je m'en propoſe ſeulement la recherche : nous allons parler de quelques remarques préliminaires qui doivent ſervir de baſe; & quant à l'application, nous nous réglerons d'après l'expérience.

2368. La conſtante juſteſſe d'une montre eſt fondée ſur deux choſes principales; la premiere, c'eſt dans l'harmonie ou rapport entre le régulateur & le moteur, rapport que nous avons établi ci-devant pour la compenſation des effets du chaud & du froid; la ſeconde, ſur la conſtante uniformité des frottements: nous avons traité ci-devant le premier objet; mais il eſt à propos de rechercher les moyens de rendre les frottements conſtants.

2369. Par rapport aux frottements, on ne doit pas perdre de vue les principes ſuivants; 1°, *que ce n'eſt pas à la quantité abſolue des frottements qu'il faut avoir égard, mais à leur conſtante uniformité* (1875); 2°, *que les temps des oſcillations d'un corps ſeront toujours les mêmes, ſi la réſiſtance au mouvement eſt toujours la même, & que la puiſſance motrice agiſſe avec une force conſtante* (1822). *Conſultez encore le principe du n°.* 1823.

2370. Or dans les montres, toute leur juſteſſe eſt fondée ſur la conſtance des frottements (1894); car la compenſation même pour les différentes températures, eſt auſſi bien fondée ſur le frottement : c'eſt donc à rendre les frottements conſtants, que nous nous attacherons.

2371. Nous avons fait voir que pour diminuer, autant qu'il eſt poſſible, les inégalités produites par la force motrice, il falloit donner une grande quantité de mouvement au régulateur, & que le moteur étant puiſſant, les changements dans les huiles diminueroient une moindre partie du mouve-

ment : nous établirons d'après l'expérience, les limites de cette force de mouvement.

2372. Une autre conſidération qu'il ne faut pas perdre de vue pour les frottements, c'eſt d'augmenter les ſurfaces des parties frottantes en raiſon des preſſions, & ne leur donner que la quantité convenable pour ne pouvoir être déchirées.

2373. Nous avons dit, (art. 941) que pour diviſer également la preſſion ſur chaque pivot, il faut que la force agiſſe dans le milieu des deux pivots : cette conſidération eſt très - eſſentielle pour diminuer le frottement & le rendre conſtant.

2374. Enfin pour rendre le frottement conſtant, il faut pratiquer de grands réſervoirs aux pivots, afin que l'huile qu'on y met s'y conſerve long-temps également fluide.

2375. Nous avons dit (565) que les montres à roue de rencontre doivent battre un plus grand nombre de vibrations que celles à cylindre, afin d'éviter les battements de la cheville de renverſement du balancier contre la couliſſe, défaut qui fait varier la montre par le *porté* : cette conſidération eſt particuliere aux montres à roue de rencontre ; mais nous devons obſerver qu'en général il eſt préferable de faire battre un plus grand nombre de vibrations, lorſque la quantité de mouvement doit être grande; car avec des vibrations lentes, il faut un balancier peſant, & dès-lors les pivots ſont plus expoſés à caſſer par la moindre chûte ; il faut encore obſerver que le frottement de l'échappement en devient plus nuiſible ; car ſuppoſant la même quantité de mouvement dans les balanciers de deux montres, que l'un faſſe cinq vibrations par ſeconde, & l'autre une, & que les roues aient même nombre de dents, épaiſſeur, diametre, &c ; alors la force à la circonférence de la roue, pour la montre à vibrations lentes, ſera à la force de l'autre roue, comme 5 eſt à 1 ; donc la preſſion ſur le cylindre ſera cinq fois plus grande, & la deſtruction plus prompte ; il eſt vrai que dans la montre à vibrations promptes, il y aura cinq fois plus d'eſpace parcouru par l'é-

chappement ; mais ſi l'épaiſſeur de la roue eſt proportionnelle à la preſſion, le déchirement des parties n'aura pas lieu, ainſi que dans l'autre montre dont la roue a même épaiſſeur ; donc le frottement ſera plus conſtant. Pour corriger ce défaut dans une montre à vibrations lentes qui a une grande quantité de mouvement, il faut augmenter l'épaiſſeur de la roue à proportion de la force qu'elle a à ſa circonférence ; il faut alors ſuppoſer que la dent eſt aſſez exactement formée, pour qu'elle porte par tous ſes points ſur la piece d'échappement ; car ſi cela n'eſt pas, le frottement ſe fera de la même maniere que ſi la dent étoit mince ; or dans ce cas les vibrations promptes par une roue plus mince rendront cet effet moins équivoque.

2376. Voilà en gros les conſidérations qui doivent nous guider dans la conſtruction de notre montre : il faut maintenant entrer dans les détails de pratique.

2377. Le balancier eſt la partie principale d'une montre, & ce ſont ſes dimenſions qui déterminent toutes les parties de la machine ; car la force du reſſort doit être relative à la quantité de mouvement du régulateur, & la grandeur des roues, les nombres des dents, &c, ſont relatives à l'action du reſſort ; mais pour conſtruire ſûrement ce régulateur, nous partirons d'après une montre faite ſelon mes principes, dont la juſteſſe eſt très-grande, & les dimenſions convenables. Dans cette montre, le balancier a 10 lignes de diametre ; il peſe 7 grains ; les arcs de levées ſont de 40 degrés ; il fait 17333 vibrations par heure. Pour entretenir le mouvement de ce régulateur, il faut un reſſort dont la force faſſe équilibre avec 6 gros appliqués à 4 pouces du centre de la fuſée : voilà ce qui détermine la hauteur de la cage, & ſon diametre.

2378. Pour avoir un reſſort capable de produire cette force, il faut que le barillet ait 2 lignes $\frac{1}{2}$ de hauteur, & plus de 8 lignes de diametre ; cela donne une platine des piliers, qui a de diametre 18 lignes $\frac{1}{2}$; la figure 1ere, Planche XXXVII, repréſente le dedans de cette platine ſur laquelle le calibre eſt tracé.

2379. Le barillet *a c* eſt mis à côté de la fuſée *d* ; par

ce moyen il a toute la hauteur de la cage, d'où il en réſulte deux avantages; le premier, c'eſt que le reſſort en eſt meilleur (1988); le ſecond, c'eſt que le barillet eſt moins expoſé à vaciller ſur ſon axe, & que l'on peut réſerver au couvercle & au fond des têtines qui donnent des trous épais qui ne peuvent s'aggrandir, & on reſerve en outre des creuſures pour l'huile, & rendre le frottement conſtant.

2380. Il faut que la grande roue moyenne *f* ſoit noyée dans l'épaiſſeur de la platine des piliers, parce que, 1°, on conſerve, comme je viens de le dire, le barillet de toute la hauteur de la cage; 2°, la fuſée a auſſi toute la hauteur de la cage, enſorte que l'on peut employer une bonne chaîne Angloiſe.

2381. Il faut diſtribuer les roues de petite moyenne & de champ, de ſorte que le talon de la potence puiſſe deſcendre à fleur de la platine, afin que la roue de rencontre ſoit auſſi grande poſſible, & que cependant il reſte un tigeron qui éloigne l'huile de la palette, qui éloigne auſſi du pivot l'effort que la palette d'enbas reçoit de la roue. La poſition que j'ai donnée à ces roues dans le calibre ſatisfait à ces conditions; elle a de plus l'avantage de rendre la montre facile à remonter, ce qui n'a pas lieu dans les montres ordinaires; dans celle-ci la roue de petite moyenne paſſe entre la petite platine & la tige de rencontre.

2382. Je ne donne que la hauteur convenable à la cage pour le barillet & la roue de rencontre, & j'augmente la hauteur de la place ſous le cadran; par ce moyen j'ai des ponts fort élevés qui vont juſqu'au cadran; ainſi la preſſion des roues ſe fait dans le milieu de la longueur entre les deux pivots, (*voyez fig.* 4, qui fait voir toutes les roues de la montre de profil, & arrangées ſur la même ligne); cette figure préſente d'une maniere facile à être ſaiſie, les élévations de chaque partie de la montre.

2383. Pour faciliter l'exécution des roues, on les tient auſſi grandes que la place le permet; mais pour en déterminer exactement la grandeur, relativement à leur poſition, il faut

avoir

avoir égard au nombre de dents que ces roues doivent avoir, & à ceux de leur pignon, afin que ces roues étant exécutées, & ainſi placées, les engrenages ſoient auſſi près d'être à leur vrai point, qu'il eſt poſſible ; ainſi toutes les roues ne doivent pas approcher également du centre des pignons, dans leſquels elles doivent engrener ; car cela varie ſelon que les pignons ſont plus ou moins nombrés, & qu'ils font un plus grand ou plus petit nombre de révolutions pour une de la roue qui les mene : par exemple, la roue de fuſée qui doit porter 54 dents, & engrener dans un pignon 12 (celui-ci fait donc 4 tours $\frac{1}{2}$ pour 1 de la roue), doit moins approcher du centre de ſon pignon que la roue de grande moyenne qui a 60 dents, & engrene pignon 6 (celui-ci fait 10 tours pour 1 de la roue), parce que ce pignon doit être beaucoup plus petit que celui de 12. Avant donc de tracer la vraie grandeur de ces roues, il faut trouver le nombre des dents des roues & pignons ; & l'on trace les roues en conſéquence, en eſtimant le point où l'engrenage doit ſe faire, ce que l'on juge par le rapport de la groſſeur du pignon au diametre de la roue ; mais pour fixer bien ces grandeurs, on ne peut le faire parfaitement que lorſqu'on a exécuté une piece d'après le calibre ; alors on retouche celui-ci en conſéquence : *c* (*fig.* 1) eſt le barillet ; *d* la fuſée ; *f* la grande roue moyenne ; *g* la petite moyenne ; *h* la roue de champ.

2384. Pour régler le nombre de vibrations dans une montre à roue de rencontre, il faut conſidérer, ainſi que nous l'avons déjà dit (565), qu'il ne faut pas que le balancier faſſe des vibrations lentes à cauſe des battements auxquels il ſeroit ſujet au porté : je fais battre au balancier de cette montre 15600, lorſque la montre eſt ſans ſecondes ; & comme ce calibre eſt diſpoſé pour que l'on puiſſe faire la montre à ſecondes excentrique, l'aiguille portée par la roue de champ, alors je fais battre 14400 : voici les nombres des dents des roues & pignons dans l'une & l'autre montre.

Montre ordinaire.

2385. Roue de fuſée 54, engrene dans le pignon de 12 qui porte la grande roue moyenne : celle-ci a 60 dents ; elle engrene dans le pignon 6 qui porte la petite roue moyenne : la petite roue moyenne a 48 ; elle engrene dans le pignon 6 qui porte la roue de champ : celle-ci porte 45 dents, elle engrene dans le pignon de la roue de rencontre qui a 13 dents (*).

Montre à ſecondes.

2386. Roue de fuſée 54, engrene pignon 12 ; grande roue moyenne 60, engrene pignon 8 ; petite moyenne 48, engrene pignon 6 ; de champ 48 engrene pignon 6 ; roue de rencontre 15.

2387. Les roues ainſi tracées, on marquera la grandeur de la petite platine que l'on fera concentrique à la grande platine ; mais qu'il faut tenir plus petite par la raiſon que la charniere étant attachée à la platine des piliers, lorſque l'on ouvre la montre, l'extrémité de la cage oppoſée à la charniere décrit une portion de cercle dont la charniere eſt le centre ; or comme la petite platine doit paſſer dans l'ouverture de la boîte, il faut qu'elle ſoit plus petite que la grande, à raiſon de l'élévation des piliers ; c'eſt ce que l'on appelle l'*Embichetage*.

2388. Quand on a tracé ſur le calibre la place des roues contenues dans la cage, alors on trace ſur le même côté du calibre *le deſſus de platine*, c'eſt-à-dire, toutes les pieces poſées ſur la petite platine, comme le coq, la couliſſerie, la roſette, &c.

(*) Il eſt préférable de ne donner que 13 dents à la roue de rencontre ; car le diametre de cette roue étant donné, ainſi que la groſſeur du corps de la verge de balancier ; moins cette roue aura de dents, & plus l'arc de levée ſera grand, & celui de recul ſera dans un moindre rapport avec celui de levée ; condition qui conduit à l'iſochroniſme (559).

2389. Le balancier doit être tracé d'après la diſpoſition des pieces du dedans qui doit être combinée de ſorte à ménager ſa place convenablement, pour que le talon de potence deſcende à fleur de la platine des piliers ; on a par ce moyen une plus grande roue de rencontre. Le balancier doit être ſitué, le plus qu'il ſe peut, dans le milieu de la cage ; par ce moyen, cela rend la boîte de la montre moins élevée.

2390. Le balancier placé ſur le calibre, comme on le voit dans la fig. 1, on marquera le coq dont la grandeur doit être la même que celle du balancier ; ainſi les deux traits ſe confondent : pour donc déſigner le coq, il faut tracer la direction *t u* des pattes pour les vis ; or cette direction dépend de l'endroit où on peut placer la roſette ; car les pieds du coq doivent être perpendiculaires à la ligne qui paſſe du centre de la roſette à celui du balancier ; mais pour placer la roſette, il faut choiſir un endroit où elle ne recouvre aucun trou de pivots, non plus que la couliſſe & les pieds du coq ; car j'ai déja fait obſerver que lorſqu'une piece quelconque paſſe par-deſſus le réſervoir d'un pivot, elle attire toute l'huile contenue dans ce réſervoir ; il faut auſſi choiſir, autant que cela ſe peut, une place pour la roſette qui ſoit telle, qu'elle ſoit la plus grande poſſible ; car il eſt néceſſaire que la roue de roſette ſoit grande, afin que le rateau parcoure un grand eſpace, & que par ce moyen tous les changements qui peuvent arriver dans les huiles, frottements, &c, n'obligent jamais, ainſi que cela arrive fréquemment, d'alonger ou d'accourcir le ſpiral par le piton ; & la roſette doit être grande pour que ſes diviſions ſoient plus ſenſibles.

2391. Pour tracer le deſſus, comme nous venons de le dire, la roſette *p* (*fig.* 1) ſe placera entre le barillet & la fuſée ; il faut qu'elle ſoit aſſez diſtante du trou de fuſée, pour loger l'un des pieds de la couliſſe entre la roſette & le pont de fuſée ; l'autre pied de la couliſſe doit être à même diſtance du centre de la roſette, que le premier ; la roſette doit être attachée par deux vis, comme on le voit (*fig.* 8) ; par ce moyen les chiffres & diviſions gravés ſur cette eſpece de cadran, ne ſont pas

coupés,& la roſette plaque mieux ſur la platine : les pattes 6,8 (*fig* 1)que la roſette doit porter pour ces vis, doivent être aſſez écartées pour ne pouvoir toucher aux pieds de la couliſſe ; & il faut, autant que cela ſe peut, que ces pattes de la roſette ſoient près du milieu, afin qu'elle ſoit fixée ſolidement : pour donner à ces pieces une ſymmétrie qui ne nuiſe pas à la bonté de la machine, il faut placer ſur un arc de cercle tiré du centre de balancier, & pour leur diſtance du centre de la roſette, on tirera un autre arc, dont les ſections avec le premier déterminent la poſition des vis ; on placera de même les pieds *l*, *l* de la couliſſe, à même diſtance du centre du balancier.

2392. On tracera la roue de roſette *m* que l'on tiendra auſſi grande qu'elle eſt marquée ſur le calibre. On voit que cela rapproche de beaucoup le rateau du centre du balancier ; & voici pourquoi je donne cette diſpoſition à la couliſſerie ; 1°, c'eſt qu'en tenant une roue de roſette grande, cela augmente le chemin du rateau, & donne la facilité de régler ſa montre, quoique les huiles ſoient fort épaiſſies, &c (566) ; 2°, on fait ordinairement battre la cheville de renverſement ſur le bout de la couliſſe, & cette cheville paſſe par-deſſus le rateau, & ſouvent y touche, ce qui arrête la montre ; ou bien elle paſſe par-deſſus la couliſſe, & dans ce cas ou la montre arrête, ou le rouage court, & la roue de rencontre s'eſtropie contre les palettes ; il eſt vrai que l'un & l'autre de ces accidents arrivent peu à des montres faites avec ſoin ; mais alors on eſt obligé de tenir la couliſſe plus épaiſſe, ce qui rend le coq plus élevé, & ſans néceſſité ; 3°, la roue de roſette étant grande, & l'eſpace parcouru par le rateau augmentant à proportion, il arriveroit que lorſque la couliſſe eſt coupée de longueur convenable à arrêter la cheville de renverſement, le rateau ſeroit preſque entiérement à découvert, & ſon ajuſtement moins ſolide. Je remédie donc à ces obſtacles en laiſſant une grande largeur en dehors du rateau ; car par ce moyen, pour faire le renverſement, je forme ſur la couliſſe l'entaille *p q* telle qu'on la voit dans la fig. 8, & la cheville qui peut être fort longue tourne autour du rateau & de la matiere ré-

ſervée à la couliſſe, & va battre contre le fond que l'on recule ſelon qu'il en eſt beſoin ; je conſerve la couliſſe auſſi longue qu'il la faut pour recouvrir tout le chemin parcouru par le rateau. Comme les bouts de la couliſſe ſont aſſez éloignés des vis qui la fixent à la platine, il pourroit arriver que ces bouts de la couliſſe ſe ſouleveroient lorſqu'on fait mouvoir ce rateau ; c'eſt pour éviter cela que l'on fixera ſur la platine deux eſpeces de griffes qui retiendront la couliſſe appliquée contre la platine.

2393. On tracera le coqueret qui doit porter le pivot ſupérieur du balancier : on obſervera que ce pivot caſſe preſque toujours par la moindre chûte de la montre ; or pour prévenir cet accident, en place du coqüeret du balancier, je forme un pont qui éloigne le pivot du balancier, enſorte que celui-ci ſe trouve auſſi près du milieu de l'axe qu'il ſe peut ; alors le tigeron paſſe ſeulement avec liberté à travers le trou du coq qui lui eſt concentrique ; ce trou ne doit pas être trop aggrandi ; par ce moyen, ſi la montre tombe, la verge fléchit, & le tigeron reçoit tout l'effort du coup, de ſorte que le pivot ne caſſe pas ; mais quand même cela arriveroit, l'accident en ſeroit borné là ; car le rouage ne pourroit pas *courir*, ni les dents de la roue de rencontre s'émouſſer, ainſi que cela arrive à preſque toutes les montres où le pivot de balancier caſſe. Mais s'il arrive que la chûte faſſe caſſer un pivot de balancier dans nos montres, voici comment il faut le réparer ; c'eſt d'ajuſter ſur le tigeron du pivot caſſé, un *chaperon* ſur lequel on levera un pivot de même dimenſion que celui caſſé. Pour faire ce chaperon *e f* (*fig.* 11), on perce ſur le tour un bout d'acier bien pur, de groſſeur convenable à former un canon ſolide autour du tigeron ; le trou doit être de la groſſeur du tigeron, c'eſt-à-dire, propre à y entrer juſte ; la profondeur du trou doit être un peu moindre que la longueur du tigeron ; car il faut raccourcir ce tigeron, afin que le trou ne ſoit pas coupé par le pivot que l'on doit former au chaperon, & qu'il reſte de la matiere, comme on le voit dans la figure 11 : le trou ainſi fait, on y paſſe un équarriſſoir pour le rendre uni ;

& de groſſeur à entrer à force ſur le tigeron : on formera une pointe au bout où doit être le pivot ; on mettra ce chaperon ſur un arbre liſſe ; on jettera la pointe pour que l'arbre tourne rond ; en cet état, on tournera le chaperon, & on lui donnera à-peu-près la figure que l'on voit en *ef* (*fig.* 11); cela fait, on le trempera, & on le fera revenir bleu-jaunâtre ; on nettoiera le trou, & on le chaſſera ſur le tigeron, & bien au fond ; on jettera la pointe, ſi la verge de balancier & le balancier ne tournent pas rond ; & juſqu'à ce que cela ſoit, on tournera le chaperon dans toute ſa longueur ; on fera le pivot, on agrandira le trou du coq, pour que le chaperon y paſſe librement, & on raccourcira le pivot, ſi le balancier eſt trop haut en cage, &c.

2394. Quand on fait rouler le pivot ſupérieur de la fuſée dans la platine même, l'huile que l'on met à ce trou eſt ſouvent expoſée à être attirée par le crochet de fuſée qui ſe trouve fort près de ce pivot : c'eſt pour éviter ce défaut que l'on doit faire uſage du pont que l'on met à la fuſée ; mais il faut le faire plus ſolide qu'on ne fait communément, afin, 1°, qu'il ne puiſſe fléchir par l'effort qu'il reçoit pendant qu'on remonte la montre ; 2°, il faut que la partie qui reçoit le pivot (*) ſoit fort épaiſſe, afin d'avoir de quoi former un réſervoir qui contienne beaucoup d'huile : on tracera ce pont ſur le calibre ; il ne faut pas le contourner, cela ne ſe feroit qu'aux dépens de ſa ſolidité : je ne fais conſiſter l'élégance dans des machines utiles, comme ſont celles qui meſurent le temps, que dans l'intelligence que l'Artiſte emploie à leur compoſition,

(*) A propos de ce pivot, pluſieurs Auteurs qui ont écrit ſur l'Horlogerie ſe ſont trompés très-groſſierement quand ils ont dit : *Le pivot ſupérieur* (de la fuſée) *devroit avoir ſon diametre beaucoup plus petit que celui du pivot inférieur.* Cela eſt contraire à tout principe de méchanique ; car c'eſt comme ſi l'on diſoit que parce que les roues de groſſes horloges qui ſont plus peſantes que celles d'une montre, il faut en rendre les pivots plus petits. Bien loin que l'on doive tenir le pivot ſupérieur de la fuſée plus petit que celui de la baſe, il faudroit au contraire (le pivot de la baſe étant de bonne groſſeur) que le nombre des parties frottantes du pivot ſupérieur fût au nombre de parties frottantes du pivot inférieur, comme la preſſion au ſommet eſt à la preſſion de la baſe ; dès-lors le frottement ſera égal ſur chaque pivot, & il ſera conſtant,

dans la ſolidité convenable à chaque partie, & dans la juſteſſe de la marche de la machine.

2395. Le deſſus étant ainſi tracé, il faudra marquer la place des piliers, & de ſorte qu'ils ne gênent ni aux roues contenues dans la cage ni aux pieces du deſſus de platine : les bouts des piliers ou pivots que l'on goupille pour aſſembler la cage, ne doivent paſſer ni ſous le coq ni ſous la roſette ; mais en être même aſſez éloignés pour que les goupilles n'approchent d'aucunes pieces, afin d'avoir la facilité de les ôter : il faut ne pas trop approcher du dedans de la cage le pilier ſitué entre le barillet & la roue de fuſée, afin qu'il ne puiſſe pas toucher à la chaîne lorſque la montre *eſt au bas*, c'eſt-à-dire que la chaîne entoure le barillet, & qu'il n'y a plus qu'une partie d'un tour ſur la baſe.

2396. Pour diminuer le frottement qu'éprouve le pivot du côté de la roue de rencontre, il faut, au lieu de placer la contre-potence ſur le bord de la platine, & de faire paſſer la tige à côté de celle de champ, placer cette contre-potence en dedans, entre la tige de champ & la potence, comme on le voit (*fig.* 8) ; *n o* repréſente cette contre-potence ; il en réſultera, 1°, que les deux pivots de rencontre ſouffriront une égale preſſion, ce qui donnera la liberté de tenir ces pivots plus petits que l'on ne pourroit le faire ſans cette diſpoſition ; 2°, l'engrenage de champ en ſera meilleur ; 3°, le trou du nez de potence dans lequel roule le pivot du dedans de la roue ne pourra pas ſe rendre ovale, ainſi que cela arrive par la mauvaiſe diſpoſition que l'on donne à cette partie ; ainſi l'échappement reſtera conſtamment le même ; on tirera donc un trait *y i* (*fig.* 1) du centre de la roue de champ au centre du balancier ; ce trait déſignera l'axe de la roue de rencontre ; & on tirera du centre du balancier un trait *i z* perpendiculaire au premier, lequel indiquera le plan de mouvement du lardon de potence.

2397. Le barillet étant de toute la hauteur de la cage, on ne pourra pas placer la charniere du mouvement ſous le barillet, ainſi que cela ſe pratique ; on la mettra donc à côté

du barillet entre la fuſée ; on tirera de l'endroit où cette charniere doit être, un trait qui paſſe par le milieu du calibre ; ce trait marqué *a* dans le calibre, repréſente auſſi l'endroit des 12 heures ; on marque à ſon oppoſite *b*, la place du reſſort de cadran.

2398. Le calibre ainſi tracé, on perce des trous ſur chaque centre, roue, vis, &c ; on ne doit pas ſe ſervir du même foret pour chaque trou ; car ceux des piliers doivent avoir environ $\frac{1}{2}$ ligne de diametre ; ceux de barillet & de fuſée $\frac{1}{3}$, ainſi que ceux des vis de roſette & de couliſſe ; ceux de champ & de petites moyennes $\frac{1}{8}$, &c.

2399. Les trous percés, on marquera ſur le bord *a* un petit trait à travers l'épaiſſeur du calibre ; on ſe ſervira de ce trait pour tracer de l'autre côté (*fig.* 2) un trait *a b* qui paſſe de l'endroit marqué au bord par le centre ; ce trait déſignera la ligne de midi.

2400. On tracera ſur ce côté du calibre le pont dans lequel doivent rouler les pivots de roue de champ & de petite moyenne, & tel qu'on le voit en *i k* : pour le rendre plus ſolide, on doit l'attacher avec deux vis dont on marquera la place ſur le calibre.

2401. En donnant au barillet toute la hauteur de la cage, ainſi que nous le faiſons ici, on ne peut pas placer une vis ſans fin pour ſoutenir l'effort du reſſort. Il faut donc employer, comme on le fait dans les pendules, un rochet & un cliquet ; & cette méthode eſt infiniment préférable ; car les vis ſans fin ſont très-difficiles à bien faire ; il y a plus d'ouvrage, & peu d'Ouvriers les font bonnes, & elles n'ont d'ailleurs aucun avantage. L'encliquetage, pour retenir l'arbre de barillet, ſera donc poſé ſous le cadran ; on tracera cet encliquetage, ainſi qu'on le voit en *g h* ſur le calibre ; ce rochet *g* doit être d'acier. Quand les montres ſont à répétition, l'encliquetage ne peut pas ſe placer ſous le cadran, à cauſe de la cremaillere ; mais alors on le met ſous le barillet ajuſté quarrément comme une roue de vis ſans fin, le cliquet ajuſté de même ſur la platine en deſſous du barillet.

2402. Pour déterminer la grandeur du rochet d'encliquetage de l'arbre de barillet, il faut premiérement tracer ſur le calibre la roue de cadran, & celle de renvoi ; il faut placer celle de renvoi entre le bout *i* du pont, & le rochet *g* d'encliquetage. Pour déterminer la grandeur & la poſition de ces roues, on ſe réglera ſur le nombre de leurs dents & des pignons qui les menent: ici le pignon de chauſſée a 10 dents; il engrene dans la roue de renvoi qui en a 30 ; le pignon que porte la roue de renvoi eſt de 8 ; il engrene dans la roue de cadran de 32 dents. On tracera donc ces roues en conſéquence, & on fera enſuite le rochet d'encliquetage de toute la grandeur qu'il peut avoir pour ne pas gêner ces roues : voyez la figure 2.

2403. Lorſqu'on fait la diſpoſition d'une montre, il faut profiter de toute la place que l'on a pour écarter les pieces les unes des autres; nos cadrans d'émail, par exemple, ſont aſſez convexes, & il en faut profiter pour élever les minuteries ou roues de cadran. Pour cet effet, il faut, 1°, comme on le voit (*fig.* 4), faire une *noyure* profonde, pour éloigner autant qu'il eſt poſſible, le pivot de la grande roue moyenne de cette roue; & pour cela, il faut profiter de l'épaiſſeur de la platine, à laquelle je pratique une batte, comme on le voit dans le profil ; cette batte me fournit des ponts qui allongent les tigerons, & font que la preſſion des roues ſe fait au milieu des axes : 2°, il faut élever le pignon de chauſſée *c* aſſez au-deſſus du réſervoir du trou du pivot de grande roue moyenne, pour qu'il ne puiſſe pas en attirer l'huile : enfin par cette diſpoſition, la roue de renvoi *e* ſe trouve élevée au-deſſus de la platine, ce qui retranche le frottement qu'elle produit lorſqu'elle roule ſur la platine même, ainſi que cela ſe pratique. Or pour diminuer encore le frottement de cette roue, il faut la faire rouler ſur deux pivots dont l'un entre dans un trou de la platine, & l'autre dans le trou d'un pont ; par ce moyen on ôtera toute équivoque au jeu qu'elle doit avoir ; car on ſait que, ſelon l'uſage ordinaire, cette roue eſt retenue par le cadran, enſorte que j'ai preſque toujours vu ces roues n'avoir pas le jeu convenable, & au point de pouvoir déſen-

grener de la chauſſée ; lorſque le cadran eſt appliqué, on ne voit pas comment la roue en approche ; par le moyen que j'emploie, le moins adroit peut arranger ce pont *d* ; on le tracera ſur le calibre, comme on le voit dans la figure 2 : quoique cette roue ſoit maintenue par un pont & des pivots, il faut percer le pignon dans ſa longueur, cela façilitera l'exécution des pivots, parce qu'on tournera le tout ſur un arbre liſſe.

2404. Pour avoir un tigeron de bonne longueur au-deſſous de la roue de fuſée, & empêcher l'huile du réſervoir d'en pouvoir être attirée, il faut faire une noyure profonde à la platine en laiſſant ſeulement aſſez d'épaiſſeur pour y river ſolidement un bouchon que l'on laiſſera ſaillant ſous le cadran, afin que le trou ait une épaiſſeur convenable, & qu'il y ait un réſervoir qui contienne beaucoup d'huile. Voyez la fig. 7.

2405. Pour rendre les frottements conſtants, il eſt eſſentiel, comme je l'ai déja répété pluſieurs fois, de pratiquer de bons réſervoirs pour contenir beaucoup d'huile : pour cet effet, lorſqu'une platine eſt mince, il faut y mettre des bouchons épais & ſaillants au-deſſus, afin qu'en outre la longueur du trou, il reſte une épaiſſeur convenable pour former le réſervoir ; or il faut que le bouchon ait au moins deux fois la longueur du pivot. Quand on met des barrettes pour alonger les tigerons, il faut que ces barrettes ſoient épaiſſes, ſinon il faut y mettre des bouchons épais : il y a une quantité de montres qui péchent par-là, enſorte que l'huile eſt en ſi petite quantité, le trou ſi mince, que celui-ci ſe déchire, & l'huile ſe deſſéche, ce qui détruit & fait varier les montres. Ces ſortes de bouchons ſaillants dont je parle, ont même un avantage, c'eſt qu'ils garantiſſent de la pouſſiere l'huile contenue dans le réſervoir ; il ſeroit très-convenable de boucher ainſi tous les trous par des parties ainſi ſaillantes ; car 1°, l'huile eſt moins attirée en dehors du réſervoir, parce qu'elle eſt iſolée & retenue dans ſon trou ; 2°, c'eſt que la pouſſiere qui tombe ſur la platine, ne peut que gliſſer deſſus, ſans entrer dans le réſervoir.

2406. Nous devons encore obſerver ici que l'on ne doit pas faire uſage des trous foncés pour faire rouler les pivots: cette méthode eſt très-défectueuſe ; car l'huile qui eſt dans le fond du trou ne ſe renouvelle point, enſorte que les particules qui ſe détachent par le frottement & les atômes qui s'attachent à l'huile n'ont point d'iſſue pour ſortir du fond du trou ; ainſi l'huile ſe noircit bien-tôt, ronge le pivot, & ôte toute la liberté du mouvement ; c'eſt pour ces raiſons qu'il faut faire uſage des contre-potences pour les roues de rencontre. J'ai dit (626) qu'il falloit faire un trou foncé au nez de potence pour y faire rouler le pivot de rencontre, afin d'empêcher que la palette n'en pût emporter l'huile ; mais je n'avois pas examiné toute cette matiere avec aſſez d'attention. J'avoue que ce n'eſt pas le ſeul article ſur lequel j'aie beſoin de faire correction.

2407. Pour éviter qu'en mettant le balancier en place la palette d'en bas ne puiſſe prendre de l'huile au réſervoir du pivot de rencontre, il faut recouvrir ce trou avec une petite plaque mince d'acier ; cette plaque recevra le bout du pivot ; on mettra le derriere du nez de potence en goutte de ſuie pour y retenir l'huile.

2408. Pour donner aux platines & barrettes l'épaiſſeur convenable, il faut ſavoir quelle devra être la longueur du pivot qui doit y rouler : or la proportion qu'il faut ſuivre pour déterminer cette longueur des pivots, c'eſt qu'elle doit être double du diametre du pivot, c'eſt-à-dire, que ſi un pivot a $\frac{1}{4}$ de lig. de diametre, il faut que ſa longueur ſoit de demi-ligne. Voilà les obſervations préliminaires ſur la conſtruction d'une bonne montre à roue de rencontre : nous allons maintenant en décrire toutes les parties.

Deſcription de cette Montre.

2409. La figure 4 (*Pl. XXXVII*) fait voir en profil le mouvement de la montre & toutes les roues placées ſur la même ligne, les platines coupées par le milieu des trous ; c'eſt, comme

j'ai dit, pour faire voir l'élévation de toutes les parties de la montre. *A A* eſt la platine des piliers ; *e e*, ſon épaiſſeur ; *a A*, *a A*, la batte ou fauſſe plaque ; *c c* le pont réſervé au centre pour le tigeron de la grande moyenne ; *B B*, la creuſure pour former la fauſſe plaque ; *C C* eſt la petite platine (les piliers ne ſont pas ici repréſentés ; la figure 1 de la XXXVIII Planche en fait voir un) ; *D* eſt le barillet avec ſa chaîne qui l'entoure ; *E*, la fuſée ; *F*, le pont de la fuſée ; *d* la noyure faite à la platine, pour que le pivot inférieur de la fuſée ait un plus grand tigeron ; *g g* eſt l'aſſiette ou bouchon rivé à la platine pour former l'épaiſſeur du trou du pivot de fuſée, & le réſervoir pour l'huile ; *G* eſt la roue de fuſée ; *h*, le pignon de la grande roue moyenne dans laquelle engrene la roue de fuſée ; *I* eſt la grande roue moyenne qui engrene dans le pignon *k*, ſur lequel eſt rivée la petite roue moyenne *L* : le pivot ſupérieur 1 de la petite roue moyenne roule dans le trou fait à la petite platine ; & l'inférieur 2, dans un trou fait au pont *f f* fixé avec deux vis & deux pieds ſur le dehors de la platine des piliers ; l'élévation de ce pont dépend de la hauteur de la fauſſe plaque & de la courbure du cadran ponctué *A* 2 *A*. La petite roue moyenne *L* engrene dans le pignon *l*, ſur lequel eſt rivée la roue de champ ; le pivot ſupérieur 3 de la roue de champ roule dans le trou de la petite platine, & celui 4 dans celui fait au pont *f f* ; la roue de champ *M* engrene dans le pignon *m*, ſur lequel eſt rivée la roue de rencontre *N* ; le pivot de la roue de rencontre du dedans de la roue roule dans le trou fait au nez de potence *O* ; & l'autre pivot roule dans le trou fait à la contre-potence *n*. La verge de balancier *o p* porte deux pivots dont l'un ſupérieur *p* roule dans le trou fait au coqueret *P* fixé avec une vis & deux pieds ſur le coq *Q* ; celui-ci ſe fixe ſur la petite platine avec deux vis & deux pieds ; le pivot inférieur de la verge de balancier roule dans le trou fait au talon de la potence *O* ; la verge de balancier porte deux palettes qui engrenent dans les dents de la roue de rencontre, ce qui forme l'échappement (135) ; le balancier *R R* eſt rivé ſur l'aſſiette 5 ſoudée à la verge *o p* ; *r r* repréſente la coupe

de la couliſſe & du rateau appliqué ſur la petite platine; il faut que le balancier n'approche pas trop près ni du deſſus du coq, ni du deſſus de la couliſſe, afin que la pouſſiere qui pourroit s'y arrêter ne puiſſe interrompre le mouvement du balancier : la plaque d'acier *s* ſert à recevoir le bout du pivot de la verge, afin que la portée ne frotte pas au coqueret. Je ſupprime l'agathe dont on fait uſage aſſez communément, par la raiſon qu'elle prenoit une hauteur qu'il vaut mieux employer à augmenter le tigeron *p*; d'ailleurs cette plaque étant trempée fort dure, le pivot ne la ronge pas : cette plaque eſt fixée par la même vis *t* qui arrête le coqueret ſur le coq; le pivot ſupérieur 6 de la grande roue moyenne roule dans le trou fait au centre de la petite platine, & le pivot 7 roule dans le pont réſervé au centre de la platine des piliers; ce pivot prolongé 7, 8 porte le pignon de chauſſée *u* qui engrene dans la roue de renvoi *S*; celle-ci eſt rivée ſur le pignon *x*; ce pignon porte deux pivots, l'un 9, roule dans le trou fait à la platine des piliers, & l'autre 10, dans le trou du pont *T*. 10 attaché par une vis & deux pieds à la platine; le pignon *x* engrene dans la roue de cadran *V* rivée ſur un canon qui roule ſur celui de chauſſée; le bout 11 du canon de chauſſée eſt quarré; ſur ce quarré eſt ajuſtée l'aiguille des minutes *X*; la goupille z traverſe le bout du pivot de grande moyenne, & retient la chauſſée *u* 11 ſur la tige : l'aiguille des heures *Y* s'ajuſte à frottement ſur le canon de la roue de cadran; le pivot 12 de l'arbre de barillet entre dans le trou fait à la petite platine; & celui 13, dans celui de la platine des piliers; la partie ſaillante de ce pivot eſt limée quarrée pour recevoir le rochet d'encliquetage *Z*; le bout prolongé 14 du quarré ſert à donner la bande convenable au reſſort moteur contenu dans le barillet *D* : 15 eſt le quarré de fuſée qui ſert à remonter la montre : les encoches 16, 6, 1, 3, *gg*, 7, 2, 4 que l'on voit faites aux ponts & platines, repréſentent la coupe des réſervoirs que l'on a pratiqués aux bouts des trous des pivots pour y conſerver l'huile.

2410. La figure 5 repréſente le dedans de la platine des piliers vue en plan avec les pieces qu'elle porte lorſqu'on

vient d'être la petite platine. *A A* eſt la platine ; 1, 2, 3, 4 les piliers ; *D*, le barillet ; *G*, la roue de fuſée ; *h*, le pignon de longue tige ; *I*, la grande roue moyenne ; *i* le pignon qui porte la petite roue moyenne *L* ; *l* le pignon de la roue de champ ; *F* eſt la charniere qui attache le mouvement de la montre après la boîte ; *R* eſt la tête du reſſort de cadran ; *P P*, la noyure faite dans l'épaiſſeur de la platine pour y loger la grande roue moyenne.

241. La figure 6 repréſente le dedans de la petite platine avec les pieces qu'elle porte pour être aſſemblée avec la figure 5, & former la cage. *C C* eſt cette platine ; *O*, la potence attachée à la platine avec une forte vis & deux *pieds* ; *d* eſt la vis de rappel qui fait mouvoir le lardon *e f* qui porte le nez de potence dans lequel roule le pivot du dedans de la roue de rencontre *N* fixée ſur le pignon *m* ; l'autre pivot que porte ce pignon roule dans le trou de la contre-potence *n o* attachée à la platine avec une vis *q* & un pied ; cette contre-potence porte la plaque d'acier *o* attachée avec la vis *p* ; c'eſt ſur cette plaque que roule le bout du pivot ; la partie *r* de la contre-potence eſt arrondie en goutte de ſuif du côté de la plaque pour y retenir l'huile du pivot ; le nez ou lardon de potence porte auſſi une plaque d'acier pour recevoir le bout de l'autre pivot ; nous expliquerons cet ajuſtement ci-après : la plaque *P* eſt attachée à la potence *O* avec la vis *s* ; c'eſt ſur cette plaque que roule le bout du pivot inférieur de la verge de balancier : 1, 2, 3, 4 ſont les trous dans leſquels paſſent les pivots des piliers, & *h*, *i*, *l*, les trous pour les pivots des roues de grande moyenne, petite moyenne & de champ. *Q*, *R*, *V* repréſente le garde-chaîne ; *Q* eſt le *plot* piece de cuivre rivée à la platine ; elle eſt fendue pour recevoir le bout *a* du garde-chaîne, le plot & le garde-chaîne ſont traverſés par la cheville *c* ſur laquelle le garde-chaîne eſt mobile ; c'eſt ſur le bout *b* que vient arcbouter le crochet de fuſée (ponctué en *T*) lorſqu'il eſt preſſé par la chaîne *S* ; le reſſort *V* preſſe le deſſous du garde-chaîne, afin d'écarter le garde-chaîne du crochet à meſure que la montre marche, & que par conſéquent la chaîne s'applique ſur le barillet.

2412. La figure 7 repréſente en perſpective le dehors de la grande platine avec les pieces qu'elle porte : elles ſont ſituées ſous le cadran. *A A* eſt la platine ; *B B*, la partie creuſée pour former la batte ou fauſſe plaque *A* : cette fauſſe plaque eſt rompue en *a a* pour laiſſer voir toutes les pieces portées par le fond de la platine. *F* eſt la charniere pour faire ouvrir le mouvement ſur la boîte de la montre ; ſur le côté oppoſé de *F*, la platine porte un reſſort qui retient le mouvement fermé : on fera voir ce reſſort dans les développements. *Z* eſt le rochet d'encliquetage du barillet ; *C* eſt le cliquet, & 14 l'arbre prolongé du barillet ; *g g* eſt le bouchon pour former le réſervoir pour l'huile du gros pivot de fuſée. *D* eſt le quarré de fuſée pour remonter la montre ; ce quarré porte l'entonnoir *E* qui ſert à empêcher la pouſſiere qui entre avec la clef par le trou du cadran, de deſcendre dans l'huile du réſervoir *g g* : *c c* eſt le pont réſervé au centre de la platine pour alonger le tigeron de la grande moyenne ; *f f* eſt le pont dans lequel roulent les pivots de petite moyenne & de champ : la chauſſée *u* 11 entre à frottement ſur le pivot prolongé de la roue de longue tige ; pour empêcher cette chauſſée d'approcher trop près du ſommet du pont *c c*, il y a une portée qui eſt levée ſur ce pivot, & ſur laquelle poſe le bout inférieur *u* de la chauſſée : pour produire le frottement ſur le pivot 8, la chauſſée eſt fendue, comme on le voit en *d* ; le pignon de chauſſée *u* engrene dans la roue de renvoi *S*, miſe en cage entre le pont *T* & la platine, au moyen des deux pivots formés ſur le pignon *x*, ſur lequel la roue *S* eſt rivée : ce pont *T* eſt attaché ſur la platine avec une vis & deux pieds.

2413. La figure 8 fait voir en plan le dehors de la petite platine avec les pieces qui forment le *deſſus*. *C C* eſt la platine ; 1, 2, 3, 4, les trous pour les pivots de piliers ; *F* le pont de fuſée ; *D D* la couliſſe ſous laquelle ſe meut en couliſſe le rateau ponctué *E E*, portant en *a* le bras, entre les chevilles duquel paſſe le ſpiral *b c d* ; la couliſſe eſt attachée ſur la platine avec deux vis *e*, *f* ; & pour empêcher que les bouts *g*, *h* de la couliſſe ne s'écartent de la platine, ils ſont recouverts par deux griffes

fixées à la platine ; ces griffes ſont en biſeau, ainſi que le bout de la couliſſe, afin de ne pas ſaillir au-deſſus, & toucher au balancier. *G* eſt le piton du ſpiral ; ce piton porte un pivot qui entre à frottement dans un trou fait à la platine ; c'eſt ſur ce piton qu'eſt fixé le bout extérieur du ſpiral au moyen de la cheville *i* ; l'autre bout *d* du ſpiral ſe fixe à la virole de ſpiral. *H I* eſt la *roſette* ou cadran qui ſert à indiquer le chemin que l'on fait faire au rateau pour régler la montre : cette roſette eſt attachée à la platine par les deux vis *l*, *m* ; la roſette eſt creuſée en deſſous pour y loger la roue de *roſette K*, fixée ſur l'axe *n* qui porte l'aiguille *o* ; cette roue engrene dans le rateau *E a* : ainſi lorſqu'on fait tourner l'aiguille *n o* par ſon quarré, on fait mouvoir le rateau, ce qui alonge ou accourcit le ſpiral, & par conſéquent fait avancer ou retarder la montre (166) : les eſpeces de degrés *D p*, *D q* faits à la couliſſe ſervent à arrêter la cheville de renverſement du balancier, laquelle vient battre contre les parties *p*, *q*.

2414. La figure 9 repréſente le coq de balancier. *A B* ſont les pattes qui ſervent à l'attacher ſur la petite platine (*fig.* 8) ; 1, 2 ſont les trous des vis ; *P* eſt le coqueret de cuivre dans lequel roule le pivot ſupérieur du balancier ; *t* eſt le coqueret d'acier ſur lequel le bout du pivot roule.

2415. La figure 10 fait voir le balancier en perſpective, & tel qu'il eſt lorſqu'on l'ôte de deſſus le mouvement, & entiérement fini. *R R* eſt le balancier ; *a*, *b*, les pivots de la verge de balancier ; *c*, *d*, les palettes ; *e* la virole de ſpiral miſe à frottement ſur l'aſſiette de la verge ; *e f* eſt le ſpiral dont le bout *e* ſe fixe par une cheville avec la virole ; le bout *f* du ſpiral eſt fixé au piton *g h* au moyen de la goupille *i* ; le bout ou pivot *h* du piton eſt fait pour entrer à frottement dans un trou fait à la petite platine (*fig.* 8) ; *k* eſt la cheville de renverſement.

2416. *a b c d* (*figure* 11) repréſente la virole de ſpiral vue en perſpective : *a* eſt le trou qui entre ſur l'aſſiette ; *b* la fente faite à la virole pour qu'elle faſſe reſſort ; *c d*, le trou dans lequel

lequel paſſe le bout intérieur du ſpiral pour y être arrêté par une cheville.

2417. *P p* (*fig.* 1) fait voir la roue de cadran en perſpective : *P* eſt la roue, & *p* le canon ſur lequel elle eſt rivée ; c'eſt ſur le bout *p* de ce canon qu'entre à frottement le canon de l'aiguille des heures.

2418. *G z* (*fig.* 12) fait voir de profil le bouchon *g g* de la figure 7, dans lequel roule le gros pivot de fuſée : *G* eſt la partie dans laquelle eſt fait le réſervoir pour l'huile ; & *z* l'aſſiette & le canon pour river ce bouchon ſur la platine.

PLANCHE XXXVIII.

2419. La premiere figure fait voir en profil un des piliers de la cage du mouvement.

2420. La ſeconde figure repréſente le barillet, ſon couvercle, l'arbre & la *bride*. *A* eſt le couvercle vu du dedans avec la têtine *a* dont le trou concentrique reçoit le pivot *b* de l'arbre *B* : *C C* eſt le barillet vu en perſpective par le dedans ; *g g* eſt la têtine dont le trou reçoit la partie *c* du pivot de l'arbre de barillet ; le rebord *h* eſt creuſé en dedans pour que le bord du couvercle y entre à drageoir ; le crochet *o* fixé en dedans de la circonférence du barillet ſert à retenir le bout extérieur du reſſort moteur ; *D* eſt la bride qui empêche le reſſort de fléchir ; cette bride traverſe le barillet avec lequel elle eſt retenue ; le bout *l* de cette bride entre dans l'ouverture *i* du fond de barillet, & le bout *m* de la même bride entre dans l'entaille *r* du couvercle *A* ; *f* eſt le crochet de l'arbre du barillet ; ce crochet entre dans le trou fait au bout intérieur du reſſort moteur ; *d* eſt le pivot de l'arbre de barillet *B* qui entre dans le trou fait à la petite platine ; *e* eſt le pivot du même arbre qui entre dans le trou fait à la platine des piliers ; *p* eſt la partie prolongée hors de la platine pour recevoir quarrément le rochet d'encliquetage ; l'entaille *q* faite au couvercle *A*, ſert à démonter le couvercle de deſſus le barillet.

2421. La figure 4 repréſente l'arbre de fuſée, de profil

& en perſpective. Cet arbre eſt fait d'une ſeule piece forgée, ce qui rend le crochet plus ſolide ; on ſoude communément à l'étain, l'arbre ſur la fuſée ; mais cette méthode eſt défectueuſe ; car ces ſortes de fuſées ſont ſujettes à ſe deſſouder : voici donc un ajuſtement qui eſt préférable, & qui a d'ailleurs l'avantage de permettre de refaire ſans difficulté une fuſée en conſervant l'arbre ; c'eſt de faire entrer bien juſte la tige *a* dans le trou concentrique de la fuſée *B* (*fig.* 5) ; on arrête l'arbre avec la fuſée au moyen d'une vis ; on rend cet ajuſtement encore plus ſolide en pratiquant au ſommet *b* de la fuſée une creuſure dans laquelle ſe noye l'épaiſſeur du crochet, & l'on fait en *b* une entaille dans laquelle entre très-juſte le crochet ; ainſi il ne peut pas tourner ſéparément de la fuſée ; la vis ſert à retenir l'arbre appliqué contre la creuſure.

2422. Pour donner à la fuſée toute la grandeur qu'elle peut avoir, on loge dans ſa baſe l'encliquetage ; pour cet effet, la baſe *C C* (*fig.* 5) eſt creuſée de deux renfoncements ; dans le premier *a a* ſe loge le reſſort d'encliquetage, & le cliquet porté par la roue de fuſée *D D* (*fig.* 7) ; dans le ſecond *c c* entre fort juſte le rebord *c c* du rochet *E*, vu en perſpective (*fig.* 6) ; les dents du rochet s'appliquent ſur le premier enfoncement *a a* (*fig.* 5) ; ce rochet vu en profil (*fig.* 6) porte deux chevilles 1,2, ou tenons qui entrent dans les trous *c*, *c* (*fig.* 5) ; ainſi le rochet eſt entraîné par la fuſée, & il reſte appliqué ſur le fond de ſa creuſure, au moyen de la roue de fuſée qui le retient ; *F* (*fig.* 7) eſt la *goutte* (piece d'acier) qui entre à frottement ſur l'arbre de fuſée, & retient par ce moyen la roue *D D* (*fig.* 7) appliquée contre la baſe de la fuſée ; cette goutte *E* ſe loge dans une noyure faite au centre de la roue de fuſée ; c'eſt pour cela que l'on réſerve la têtine *d d* ; cette têtine ſe loge dans le vuide du rochet *E* (*fig.* 6) ; *e e f* eſt le reſſort d'encliquetage rivé ſur la roue avec des petites chevilles de cuivre ; *g* eſt le cliquet.

2423. *A* (*fig.* 8) fait voir en perſpective le garde-chaîne.

2424. *B* (*fig.* 8) repréſente le pont de fuſée auſſi vu en

perſpective avec ſes deux tenons *a*, *b*, & le réſervoir pour l'huile du pivot ſupérieur de la fuſée.

2425. Les figures 9 & 10 repréſentent la potence avec le lardon & les plaques d'acier pour recevoir les bouts des pivots de rencontre & de balancier ; la potence *C* eſt vue de profil (*fig.* 9) ; *d d* eſt la rainure faite pour y loger le lardon ou nez de potence *D* ; la vis de rappel *e* entre dans le trou taraudé de la potence parallele au chemin du lardon ; la partie *g* de cette vis entre dans l'entaille *h* du lardon *D* ; ainſi celui-ci ſe meut dans la rainure de la potence, ſelon que l'on fait tourner la vis de rappel ; ce mouvement du nez de potence eſt néceſſaire pour mettre parfaitement la montre dans ſon échappement. Pour retenir le lardon appliqué contre le fond de la rainure *d d* de la potence, celle-ci eſt percée en *k* d'un trou dans lequel entre une vis dont la tête appuie ſur le lardon ; & pour que la vis n'empêche pas le mouvement du lardon, on alonge le trou *l* à travers lequel la vis paſſe ; la plaque *E* eſt d'acier ; elle s'attache ſur le haut de la potence, pour recevoir le bout du pivot de la verge de balancier qui roule dans le *talon f* de la potence ; ce talon eſt arrondi en goutte de ſuie par deſſus, pour retenir l'huile du pivot entre cette partie ſphérique & la plaque *E* ; les tenons 1, 2 de la potence entrent très-juſte dans des trous faits à la petite platine.

2426. Pour que l'huile que l'on met au pivot de rencontre ne puiſſe être emportée par la palette, feu M. Julien le Roi imagina de recouvrir ce trou d'une plaque d'acier *F* (*fig.* 10) qui s'aſſemble avec le lardon même, qui eſt retenu avec elle par la vis qui fixe le lardon ; le bout du pivot de rencontre roule ſur cette plaque ; & pour retenir l'huile de ce pivot, le nez de potence *m* eſt arrondi par derriere en goutte de ſuie, de la même maniere que pour le nez de potence : on doit à MM. Sully & Julien le Roi cette excellente méthode de conſerver l'huile aux pivots : pour que le lardon d'acier ſe meuve en même temps que le nez de potence, celui-ci porte une cheville *n* qui entre dans un trou de la plaque d'acier *G* (*fig.* 10)

fait voir la plaque d'acier aſſemblée ave le lardon.

2427. La figure 11 repréſente la contre-potence : elle eſt aſſemblée en *H* avec la plaque d'acier qui doit retenir le bout du pivot de rencontre, & elle eſt vue en *I* ſans la plaque : *o* eſt la partie percée pour le pivot de rencontre ; elle eſt limée en goutte de ſuie pour retenir au ſommet du trou, entr'elle & la plaque, l'huile du pivot ; *K* eſt la plaque d'acier.

2428. On voit (*fig.* 12) la roſette vue en-deſſous ; *L L* eſt la creuſure pour loger la roue de roſette vue en *M M* ; *p p* ſont les pattes pour ſervir à attacher la roſette avec les vis ſur la petite platine ; le quarré *q* de la roue de roſette *M* entre à force dans le trou de l'aiguille *N* ; ce quarré paſſe à travers le trou de la roſette ; le pivot *r* de la roue *M* roule dans un trou de la petite platine, & *s* entre dans celui de la roſette ; celle-ci recouvre la roue, enſorte qu'elle ne puiſſe tourner que par un frottement doux.

2429. *D D* (*fig.* 13) eſt la couliſſe vue en-deſſous : les parties *E E* font voir le profil de la coupe de la couliſſe ; le rateau *F F* (*fig.* 14) eſt vu en plan par ſon deſſus ; c'eſt ce côté qui s'applique dans la couliſſe pour s'y mouvoir dans les rainures pratiquées au rateau & à la couliſſe ; ces rainures ſont repréſentées par les coupes *G G*, *H H* (*fig.* 14) ; *G G* ſont celles de la couliſſe, & *H H* celles du rateau.

2430. La figure 15 repréſente le coq de balancier vu en-deſſous : *P P* ſont les pattes qui ſervent à le fixer ſur la petite platine au moyen de deux vis qui paſſent à travers les trous 1, 2 ; les tenons *a*, *b* fixés au coq, entrent fort juſte dans les trous de la petite platine.

2431. *Q* (*fig.* 16) eſt le coqueret dans le trou duquel doit rouler le pivot ſupérieur de balancier ; *R* eſt le coqueret d'acier qui reçoit le bout du pivot ; cette plaque d'acier s'applique ſur le deſſus du coqueret ; celui-ci porte deux tenons 1, 2 qui entrent dans les trous 3 & 4 du coq (*fig.* 15) ; 5 eſt le trou qui eſt taraudé pour recevoir la vis qui applique les coquerets de cuivre & d'acier ſur le coq ; le trou 6 (*fig.* 15) eſt

celui à travers lequel doit paſſer librement le tigeron du balancier; le coqueret *Q* (*fig.* 16) eſt arrondi en *q*, en goutte de ſuie pour retenir l'huile au pivot.

2432. La figure 17 repréſente la verge de balancier fort en grand; l'aſſiette T ſur laquelle on doit river le balancier, eſt prête à entrer ſur la tige *V* pour y être ſoudée.

2433. La figure 18 repréſente le reſſort de cadran : *D* eſt le reſſort; *A* la tête ou verrouil qui arrête le mouvement avec la boîte; *B* eſt la plaque d'acier que l'on pouſſe avec le doigt ou avec l'ongle pour ouvrir le mouvement.

2434. Figure 19 eſt un arbre dont on ſe ſert pour tourner parfaitement d'épaiſſeur & ronds les balanciers : pour cet effet, on fait entrer bien juſte le trou du balancier ſur le pivot *a* de l'arbre; ce pivot doit être parfaitement tourné rond, ainſi que la baſe *b b* contre laquelle s'applique le balancier; le balancier eſt arrêté ſur cette baſe au moyen des trois vis 1, 2, 3, & de la plaque *c c* : pour tourner le balancier, il faut d'abord le croiſer, mais il faut avoir attention que le champ du balancier ſoit appuyé ſur la baſe de l'arbre & de la plaque *c c*, d'où l'on voit qu'il ſeroit néceſſaire d'avoir des arbres de différentes grandeurs, ſelon le diametre des balanciers; mais on ſupplée à cela en employant des plaques *d*, *d* bien tournées d'épaiſſeur, & qui ſe rapportent ſur la baſe *b b* au moyen des tenons 4, 5, 6; on met de même des plaques pour recouvrir le balancier; les vis 1, 2, 3 ſervent à toutes les plaques, ainſi que l'arbre *A* & ſon aſſiette *b b*.

2435. Figure 20 eſt un arbre à cire dont on ſe ſert pour tourner les platines des montres, les couliſſes, &c.

*Détails * de pratique pour l'exécution de la Montre à Roue de rencontre.*

Dimenſions ſur leſquelles on doit ſe régler pour l'exécution.

2436. La hauteur des piliers doit être 2 lig. $\frac{1}{2}$.

2437. Il faut donner une ligne $\frac{1}{4}$ d'épaiſſeur à la grande platine (toute forgée), afin de pouvoir y former la batte ou fauſſe plaque.

2438. Lorſque la fauſſe plaque eſt formée, le fond de la platine doit être de demi - ligne d'épaiſſeur.

2439. La petite platine doit auſſi avoir demi-ligne d'épaiſſeur, 1°, afin qu'elle ne puiſſe fléchir par la preſſion du coq, de la potence, contre-potence & couliſſerie ; car pour peu que cette platine ſe courbe, cela change le jeu de la roue de rencontre ; effet très-dangereux & aſſez commun, car j'ai vu des montres très - bien faites d'ailleurs, arrêter & varier par cette cauſe ; 2°, afin que les pivots aient de bonnes creuſures pour l'huile.

2440. Il faut faire des piliers tournés pour les montres ſimples, pareils à ceux des répétitions ; ils ſont plus ſolides, & l'Ouvrier eſt ſûr du cuivre qu'il emploie : les piliers façonnés ne ſont propres qu'à retenir les ſaletés, & à déchirer les doigts de celui qui nettoie la montre.

2441. Pour faire les piliers, il faut employer du cuivre de chaudiere bien écroui, & les faire de bonne groſſeur, afin que les pivots qui paſſent à travers la petite platine, puiſſent ſoutenir, ſans ſe fendre, de fortes goupilles.

2442. La baſe du pilier vu (*Planche XXXVIII, fig.* 1)

* Nous ne nous arrêterons pas autant ſur toutes les parties de l'exécution d'une montre, que nous l'avons fait pour celles de la pendule ; l'exécution de celle-ci entendue conduit à la pratique des montres, & ce que j'en dis ici ſervira peu aux Ouvriers : c'eſt aux Amateurs que je deſtine cet article. il y a cependant des Ouvriers à qui je conſeillerois de le lire.

à une ligne $\frac{8}{12}$ de diametre, le corps une ligne $\frac{1}{12}$, & les pivots $\frac{2}{12}$; le pivot inférieur qui doit être rivé à la platine des piliers, doit être plus gros que le pivot ſupérieur.

2443. L'épaiſſeur de la roue de fuſée doit être de $\frac{4}{12}$; celle de la grande roue moyenne $\frac{3}{12}$, & les autres à proportion.

2444. Le diametre des pivots de la petite roue moyenne doit être de $\frac{1}{48}$ de lig.; de la roue de champ $\frac{4}{48}$; des pivots de rencontre $\frac{3\frac{1}{2}}{48}$, & de balancier $\frac{1}{48}$ de lig.

2445. Quant au cuivre qu'il faut employer pour la fabrication de nos montres, je penſe que le meilleur eſt celui de chaudiere qui eſt gras, & eſt d'un jaune doré; ce cuivre eſt plus pur que le laiton neuf, ſoit qu'il ſoit d'une autre nature, ou qu'à force d'être fondu on l'ait purifié, & que les graiſſes y aient auſſi contribué. Les trous que l'on fait dans cette ſorte de cuivre ſont moins ſujets à s'agrandir; l'huile s'y conſerve plus pure; ces trous rongent moins le pivot; enfin ce cuivre eſt moins expoſé à fendre à la dorure.

Faire les Platines & monter la Cage.

2446. Pour faire les platines, il faut prendre du cuivre dont l'épaiſſeur ſoit double de celle qu'elles doivent avoir; ainſi pour la platine des piliers, il faut prendre du cuivre qui ait 2 lig. $\frac{1}{2}$ environ d'épaiſſeur, & pour l'autre 1 ligne; il faut couper chaque morceau plus petit que la platine, car il s'agrandira de reſte en forgeant; on écrouira ces platines avec beaucoup de ſoin, comme nous l'avons dit (729 *& ſ.*). Les platines de montres demandent d'être forgées avec toutes les attentions imaginables; car pour peu qu'elles le ſoient inégalement, elles ſe courbent à la dorure, & quelquefois même elles ſe fendent. Il faut les amener au marteau fort près de l'épaiſſeur qu'elles doivent avoir; il ne faut pas ſe ſervir de la pane du marteau, elle corrompt le cuivre.

2447. Les platines ainſi forgées, on percera au centre un petit trou, qui ſervira pour tracer avec le compas la grandeur des platines, & à les diminuer à la lime, preſqu'à

cette grandeur : cela fait, on prendra, pour les tourner, l'arbre repréſenté (*Pl. XXXVIII fig.* 20); on fera chauffer cet arbre, & on appliquera ſur ſa baſe une couche légere de cire d'Eſpagne; on appliquera l'arbre ſur la platine des piliers; on fera chauffer celle-ci par le deſſous, enſorte que la cire s'y attache; on mettra l'arbre & ſa platine ſur le tour, faiſant porter la pointe du tour dans le trou de la platine, & en même temps qu'on fait tourner l'arbre, on appuie ſur le bord de la platine avec un manche de lime, ce qui dreſſe ſon plan : on laiſſe enſuite refroidir la cire; on tourne d'abord la platine quarrément par le bord, & de la grandeur du calibre; on tourne les deux côtés en rendant ſur-tout bien plan le dehors de la plaque, dont on fera le dedans de la platine des piliers; pour cet effet on préſentera une regle ſur ce plan que l'on rendra parfaitement uni; on fera ſur le bord la retraite *a a* (*Pl. XXXVII, fig.* 4) (telle qu'on la voit à la platine *A B* vue par ſa coupe & de profil); c'eſt cette retraite qui s'emboîte ſur le bord de la boîte, & qui en recouvre la batte. On tracera au centre de la platine la grandeur de la grande roue moyenne afin d'en faire la noyure; on creuſera cette noyure un peu plus grande que la roue, & un peu plus épaiſſe; car il faut que la roue s'y loge avec du jeu en tous les ſens. Pour dreſſer le fond de cette noyure, on préſentera deſſus une petite regle, on rendra cette noyure bien unie, enſuite on l'adoucira avec une pierre à eau, & l'on coupera la petite têtine du centre que l'on aura dû réſerver pour recevoir la pointe du tour,

2448. La platine *A B* a une ſeconde noyure *c c*, pour prolonger le tigeron de la grande roue moyenne; mais on ne fait celle-ci qu'après que la platine eſt tournée des deux côtés; la noyure *d*, pour le gros pivot de fuſée, ne ſe fait non plus qu'en dernier lieu. Pour faire ces ſortes de noyures, on ſe ſert d'une eſpece de foret dont les bouts ſont plats, & que l'on centre à l'endroit où on veut faire la noyure; on a pour cela une plaque d'acier *E* (*Pl. XXXVIII fig.* 3) qui porte un canon; on ſerre le bout *i* de cette plaque avec une tenaille, & on centre le trou au-deſſus du trou que l'on doit creuſer.

Pour

Pour cet effet, on prend la pointe *D* dont le bout *l* entre juſte dans le trou de la plaque *E;* la broche *D* eſt parfaitement tournée rond & terminée en pointe ; on fait poſer cette pointe ſur le trou que l'on doit creuſer, ce qui centre la plaque ; on la fixe en ce moment avec une tenaille ; le bout *a* du foret qui doit faire la noyure, entre juſte dans le trou *h* du canon ; ainſi on creuſe à volonté : pour régler cette profondeur, & rendre le fond de la noyure fort uni, on place ſur le foret une virole *e d* qui s'y attache par une vis de preſſion *d ;* on creuſe juſqu'à ce que cette virole porte ſur le canon de la plaque d'acier ; alors le trou devient très-uni ; on ſe ſert encore de ces ſortes de forets pour terminer l'extrémité de certains trous en goutte de ſuie ; en ce cas le bout du foret eſt creuſé, comme on le voit en *b* (*fig.* 3). *B b* repréſente cet arbre tout monté ; *f* eſt le cuivrot pour faire tourner le foret ; *B* eſt le corps du foret ; *e d* l'aſſiette qui regle l'enfoncement de la noyure ; *c* eſt la partie du foret qui doit entrer dans le trou d'une plaque *E ; b* eſt la partie du foret qui coupe & forme la noyure ou la goutte de ſuie : pour former la noyure quarrée, on ſe ſert du foret *A* dont le bout *a* eſt plat ; & pour former en goutte de ſuie, on ſe ſert du foret *B* dont le bout *b* eſt creuſé.

2449. Le dedans de la platine des piliers ainſi tourné ; on l'ôtera de deſſus *l'arbre à cire*, & on appliquera le côté tourné ſur l'arbre, & l'y attachant avec la cire, comme on a fait pour l'autre côté, on dreſſera la platine en appuyant avec un manche ſur la partie du bord qui a été tournée, afin que les deux côtés tournent parfaitement droit ; on tournera le bord *A a* auquel on donnera l'inclinaiſon approchante de la figure ; on creuſera la platine de *B* en *B*, de ſorte que le fond *e e* ſoit de demi-ligne ; on réſervera au milieu l'eſpece de pont *c c* qui doit avoir la même élévation que la batte *B B ;* pour dreſſer le fond de la platine, on préſentera une petite regle afin de rendre ce fond très-droit & uni, & pour en régler l'épaiſſeur, on ſe ſervira d'un 8 de chiffre (478) ; enſuite on adoucira ce fond avec une pierre à l'eau.

2450. On mettra la petite platine ſur l'arbre à cire, & on lui

donnera la grandeur indiquée ſur le calibre, & l'épaiſſeur de demi-ligne, on l'ôtera de deſſus l'arbre, & on achevera de la dreſſer à la pierre à l'eau ; car nous ſuppoſons qu'elle doit être tournée de chaque côté parfaitement plane juſqu'au centre, enſorte qu'elle puiſſe être de même épaiſſeur par-tout.

2451. On fera la noyure pour le tigeron de la grande roue moyenne, & on la fera aſſez profonde pour qu'il reſte en *f* qu'une épaiſſeur d'un peu moins de demi-ligne ; car ce pivot étant néceſſairement gros, n'a pas beſoin, relativement à ſa preſſion, de porter ſur un trou fort long, il faut que cette épaiſſeur ſerve à y former le réſervoir pour l'huile : on fera auſſi la noyure *d* pour l'arbre de fuſée.

2452. On prendra pour faire les piliers, du cuivre bien net que l'on écrouira à plat, pour ne pas le corrompre en le forgeant quarrément, ce qui ne manque preſque jamais d'arriver aux pieces forgées de deux côtés ; on tournera ces piliers ſelon les dimenſions indiquées, & ſelon la figure premiere (*Planche XXXVIII*) ; on donnera la longueur convenable aux pivots ſupérieurs, pour qu'il reſte, outre l'épaiſſeur de la petite platine, une force ſuffiſante pour y faire le trou de la goupille ; à l'égard des pivots inférieurs, il faut qu'ils aient pour longueur, outre l'épaiſſeur de la platine, la quantité requiſe pour la rivure ; on adoucira ces piliers qui ſeront prêts à river ; mais pour cela il faut percer le calibre ſur les platines.

2453. Pour percer le calibre, on appliquera le côté du cadran du calibre contre le dedans de la platine des piliers ; on centrera avec grand ſoin la platine & le calibre ; pour cet effet, on agrandira le trou du centre de la platine, juſte à la grandeur du trou du centre du calibre ; on fera entrer un arbre liſſe dans ces trous, ayant attention que l'arbre ſoit parfaitement droit avec la platine & la plaque du calibre, c'eſt-à-dire que ces pieces tournent droit, ce qui ne manquera pas d'arriver ſi les trous ſont agrandis bien droit ; ſi cela n'eſt pas, on les dreſſera ; cela fait, on chaſſera un peu à force l'arbre liſſe pour qu'il

tienne également à la plaque & à la platine, on prendra deux tenailles à boucles ou à vis ; on ſerrera les plaques l'une contre l'autre en les pinçant à deux endroits oppoſés des platines, & de ſorte qu'il n'y ait aucun des trous du rouage & des piliers recouverts par les tenailles ; & pour que ces tenailles ne s'impriment pas ſur le bord de la fauſſe plaque de la platine, on mettra ſous chaque tenaille un petit morceau de cuivre qui portera ſur le fond de la platine, & qui ſaillera au dehors de la fauſſe plaque ; cela ainſi préparé, on fera des forets qui ſoient fort juſte de la groſſeur des trous du calibre qui doivent être percés à la platine ; ces trous ſont ceux des piliers, de la roue de fuſée, du barillet, du balancier, des roues de petite moyenne, & de champ, & enfin de la roue de renvoi. On percera ces trous, ayant attention à tenir le foret bien droit, c'eſt-à-dire, perpendiculaire au plan de la platine ; on ôtera le calibre de deſſus la platine des piliers, & on appliquera en place du calibre la petite platine dont on agrandira le trou du centre pour le faire entrer juſte ſur l'arbre liſſe ; on ſerrera les platines avec les tenailles, & ayant attention qu'elles ne prennent que ſur le bord pour ne pas recouvrir les trous : on percera avec les mêmes forets dont on s'eſt ſervi, les trous des piliers des roues & de balancier ; cela fait, & ſans déranger les tenailles qui tiennent les deux platines fixées enſemble, on agrandira les trous des piliers, en tenant l'équarriſſoir bien droit, juſqu'à ce que les petits bouts des piliers ſoient prêts à y entrer ; cette précaution eſt eſſentielle pour monter la cage bien droite, & de ſorte que les roues ſoient parfaitement droites en cage ; c'eſt pour concourir au même but qu'il faut auſſi paſſer un équarriſſoir dans les trous de fuſée & du barillet pour les dreſſer parfaitement ; il faut même les agrandir fort approchant de la groſſeur des pivots ; on en fera autant aux trous des autres roues & du balancier : enfin pour achever de percer le calibre, on ôtera la petite platine de deſſus l'autre, on retirera l'arbre liſſe, on appliquera le calibre ſur la petite platine, & du côté convenable, pour que les trous percés à la petite platine ſe rencontrent ſur ceux du calibre,

& ayant attention que le côté du calibre ſur lequel ſont tracés le rouage & le deſſus, ſoit en dehors; on centrera avec l'arbre liſſe la platine ſur le calibre; on fera paſſer par le trou du barrillet ou de la fuſée un ſecond arbre liſſe qui entrera également juſte ſur la platine & ſur le calibre, ce qui déterminera la poſition des trous de la platine parfaitement au-deſſus de ceux du calibre; en cet état on fixera enſemble avec deux tenailles la platine & le calibre, & l'on percera ſur la petite platine les trous des vis de la couliſſe, ceux de la roſette, & le trou de la roue de roſette.

2454. Quand les Ouvriers en blanc ont percé le calibre, ils exécutent toutes les pieces qui s'ajuſtent ſur la platine des piliers, afin que la cage étant montée & adoucie, cette platine reſte unie, & qu'il ne ſoit pas beſoin d'y paſſer la lime: on percera donc l'entrée du reſſort de cadran, vis-à-vis de la charniere (*Pl. XXXVII, fig.* 5); on fera la tête du reſſort telle qu'elle eſt vue dans cette figure, & dont le développement eſt vu (*Pl. XXXVIII, fig.* 18). *A*, eſt la tête qui s'applique ſur le dedans de la platine des piliers; la partie *a* entre dans l'entrée faite à la platine pour s'y mouvoir en couliſſe; *B* eſt une plaque d'acier qui ſe fixe avec la tête *A* au moyen d'une vis *b*, & d'un tenon *c*; c'eſt ſur le bout entaillé *d* que l'on agit avec le doigt pour ouvrir le mouvement; le reſſort *D* ſe fixe ſur le dehors de la platine des piliers, ainſi que la piece *B*; le reſſort renvoie la tête ou verrouil *A*; cet aſſemblage s'appelle un *reſſort à verrouil*; on fera le pont *ff* (*Pl. XXXVII, fig.* 4) de la largeur & longueur dont on l'a tracé ſur le calibre, & de la hauteur d'une ligne $\frac{2}{12}$; on en fera les pattes & la traverſe épaiſſe, afin de pouvoir baiſſer ce pont, s'il touchoit au cadran.

2455. Le calibre ainſi percé, le reſſort de cadran fait, &c, il faudra agrandir les trous des piliers de la grande platine, & juſqu'à ce que les pivots inférieurs des piliers y entrent très-juſte: on fera à chaque pilier un repaire pour les raiſons expliquées (476 & 477); on accourcira les pivots inférieurs qui auront trop de longueur pour pouvoir être bien rivés; on achevera d'ajuſter par les mêmes méthodes les pivots

ſupérieurs des piliers dans les trous de la petite platine, & fort juſtes ; on ôtera les rebarbes ; on adoucira le dedans de la grande platine ; on mettra en chanfrein les trous du dehors de cette platine ; on ſe ſervira pour cela d'un foret ; on nettoiera avec ſoin les trous pour qu'il n'y reſte pas de ſaletés ; on accourcira convenablement les pivots de piliers, pour qu'il reſte de quoi les river ; on mettra les piliers en place, & de même de la petite platine ; & on introduira de l'huile pure dans chaque trou de pilier de la grande platine, cela empêche que le mercure ne pouſſe à la dorure ; on rivera à petits coups les piliers en appuyant la cage ſur un *petit tas* (748).

2456. Cette opération doit ſe faire avec précaution, afin de ne courber ni refouler les piliers ; il faut cependant que la rivure ſoit bien rabattue, pour que les piliers ſoient très-ſolides ; on pourroit bien laiſſer l'excédent de la rivure, mais pour plus de propreté, on limera avec une lime recoudée à fleur de la platine, & l'on paſſera une pierre à adoucir, pour ôter les traits qu'auroit fait la lime. On fera paſſer un équarriſſoir dans les trous des piliers de la petite platine, pour qu'elle entre juſte & librement deſſus, & la cage ſera *montée*: il ne reſtera qu'à percer les trous de goupille ; ce que l'on fera, & bien à fleur de la platine, ayant attention à diriger le foret de ſorte que les goupilles ne paſſent ſous aucune piece de deſſus.

2457. La cage ainſi montée, il faudra faire les roues du mouvement. On choiſira du cuivre bien net que l'on écrouira uniquement avec la tête du marteau ; car la méthode de forger avec la *pane* eſt défectueuſe en ce qu'un coup mal appliqué eſt capable de corrompre & déſunir les parties du cuivre. Pour faire la roue de fuſée, il ne faut pas prendre du cuivre qui n'ait que le double de l'épaiſſeur que la roue doit avoir ; car cette roue doit avoir une têtine au centre, ſaillante au-deſſus du plan de la roue de $\frac{4}{12}$ de ligne : on prendra donc pour cette roue du cuivre de 2 lig. d'épaiſſeur que l'on réduira au marteau à $\frac{3}{12}$ ligne : on prendra la roue de grande moyenne dans une plaque qui ait $\frac{10}{12}$ ligne d'épaiſſeur ; on prendra la roue de petite moyenne dans la même plaque ; la roue de champ ſera

priſe dans une plaque qui ait 1 ligne $\frac{4}{12}$ ligne, pour être réduite au marteau à $\frac{10}{12}$ de ligne ; on coupera la roue de roſette, & les roues de *minuteries* ou de cadran dans du cuivre qui ait $\frac{6}{12}$ ligne d'épaiſſeur ; on coupera le cuivre pour faire le balancier, afin de le forger, & tourner en même temps que les roues ; il devra avoir, étant fini, $\frac{3}{12}$ d'épaiſſeur ; & pour le rendre tres-dur, on le prendra dans du cuivre quatre fois plus épais, ſi c'eſt du cuivre de chaudiere, comme je le ſuppoſe ici, ainſi que pour toutes les roues de la montre.

2458. Les roues coupées & forgées, on les percera au centre, de trous convenables pour être rivés ſur leurs pignons, & plus petits qu'il ne faut ; ainſi on fera le trou de la roue de fuſée $\frac{8}{12}$ de ligne de diametre, celui de la grande roue moyenne $\frac{5}{12}$, celui de petite moyenne & de champ $\frac{1}{12}$, du balancier $\frac{4}{12}$, & des roues de cadran $\frac{9}{12}$; ces trous devront avoir cette grandeur lorſqu'on les aura agrandis avec ſoin, & rendus bien droits & ronds. Si les roues ſont beaucoup plus grandes qu'elles ne ſont marquées ſur le calibre, on donnera ſur celles qui ſeront dans le cas, un trait de compas un peu plus grand que la roue ne doit être, & on limera cet excédent.

2459. Pour tourner les roues on les chaſſera à force ſur les arbres liſſes tournés parfaitement ronds : on aura attention en chaſſant l'arbre, que la roue tourne bien droit ; on les tournera ainſi de la grandeur tracée ſur le calibre, & de l'épaiſſeur indiquée (2436 *& ſuiv.*) ; on aura ſoin que ces roues ſoient bien tournées planes des deux côtés, & juſqu'au centre, afin de n'avoir pas à les limer pour les amincir, ce qui les rendroit inégales d'épaiſſeur ; on réſervera au centre de la roue de fuſée une têtine qui aura trois lignes de diametre ; on attendra pour mettre cette têtine en goutte de ſuie, que la roue ſoit fendue. Pour tourner la roue de champ, on la chaſſera auſſi ſur un arbre liſſe ; on aura ſoin, lorſqu'on la creuſera, de n'approcher pas tout contre l'arbre liſſe, mais de laiſſer un petit canon pour ſoutenir la roue ſur l'arbre, juſqu'au moment où elle ſera entiérement creuſée ; il faut tenir ce fond épais, afin que les croiſées ne puiſſent ni fléchir ni ſe courber,

ce qui dérangeroit l'engrenage ; pour juger de l'épaiſſeur du fond de la roue, on prendra un compas d'épaiſſeur ; la roue ainſi tournée, on emportera au burin le petit canon que l'on avoit réſervé au centre de la roue.

2460. Les roues ainſi tournées, on les fendra avec les précautions indiquées (431, 780 *& ſuiv.*), & aux nombres de dents marqués ſur le calibre : on croiſera la roue de grande moyenne, la petite moyenne & celle de champ : pour que ces croiſées ſoient ſolides, il faut les faire à quatre barrettes, comme dans la figure 5, (*Pl. XXXVII*).

2461. Les roues fendues & croiſées, on fera le pignon de longue tige : pour cet effet, on arrondira quelques dents de la roue de fuſée, & avec un calibre à pignon, on prendra la meſure du pignon : or ce pignon doit être de 12 ; ainſi on prendra avec le calibre 5 dents ſur les pointes un peu fortes (528) ; on choiſira de l'acier tiré pour un pignon de 12 qui ſoit de cette groſſeur & de longueur convenable pour la hauteur de la cage & pour la tige qui porte la chauſſée ; on ébauchera & tournera ce pignon ; on levera la portée pour y river la roue ; & on laiſſera les dents un peu plus longues que pour l'épaiſſeur de la roue, (*fig.* 4, *Planche XXXVII*) ; on efflanquera & arrondira le pignon ſelon les méthodes des articles 870 & ſuivants ; le pignon ainſi fait, on le trempera & on le fera revenir (888), on le dreſſera par ſes pointes (890 & 891), on tournera les tiges bien rondes, & l'on polira le pignon.

2462. Le pignon ainſi trempé, tourné & poli, on rivera la roue ſelon les méthodes indiquées 885, 886 & 897.

2463. Pour mettre en cage la roue de longue tige, on levera d'abord le gros pivot qui devra avoir $\frac{1}{11}$; on agrandira avec ſoin le trou du centre de la grande platine, de ſorte que le pivot y entre fort juſte lorſqu'il ſera adouci, & on reculera la portée juſqu'à ce que la roue approche du fond de la noyure, de maniere à ne pouvoir y toucher, c'eſt-à-dire, qu'il y ait un bon *jour* ; on dreſſera la portée avec une lime de fer & de la pierre à huile, & pour la polir, ainſi que le pivot, on prendra de la potée d'étain, & une lime de cuivre.

Pour lever l'autre pivot, on aſſemblera les platines; on mettra deux goupilles; & avec le maître-danſe on prendra la meſure de la hauteur de la cage, depuis la noyure faite pour le tigeron de grande moyenne juſqu'à la petite platine; on tournera le pivot ſelon cette hauteur; on lui donnera $\frac{3}{12}$ de ligne de diametre, la longueur à proportion; on le tournera en l'air (903) avec la lime à pivot, on le polira ſelon les méthodes indiquées. Comme le trou du centre de la petite platine a été agrandi plus qu'il ne falloit pour la groſſeur de ce pivot, on le rebouchera; pour cet effet, on l'agrandira encore, & on le taraudera; on prendra une tige de laiton de chaudiere bien écroui & rendu rond; on percera ſur le tour un petit trou pour le petit pivot de grande moyenne; on tournera le bout de ce bouchon en le faiſant rouler ſur la pointe du tour; on lui donnera la groſſeur propre pour être taraudé ſur le trou de la filiere qui a ſervi à tarauder le trou de la petite platine; on coupera au burin ce bouchon de la longueur convenable; on ébiſelera le trou de la petite platine, & on rivera le bouchon; on agrandira le trou, & la grande noyure ſera miſe en cage.

2464. On ébauchera l'arbre de fuſée auquel on donnera la forme repréſentée (*Pl. XXXVIII, fig.* 4); la tige doit avoir une ligne de diametre, le crochet $\frac{1}{12}$ d'épaiſſeur, la grandeur de la plaque $3\frac{1}{2}$ ligne, & le crochet ſaillant de 1 ligne; on percera le trou *d* pour la vis; on trempera cet arbre, & on le fera revenir bleu, & on le tournera avec ſoin; on levera le pivot *b* (*fig.* 4), on lui donnera pour diametre $\frac{7}{12}$ ligne, pour reculer la portée convenablement; on aſſemblera la cage, & on prendra la hauteur depuis la noyure faite pour la fuſée, juſqu'à la petite platine; on portera un bras du maître-danſe contre le crochet *c*, avec un jour convenable pour ne pas toucher à la platine, & avec l'autre on marquera l'endroit de la portée; on la tiendra un peu plus haute, afin de pouvoir encore la reculer lorſque l'on mettra l'arbre dans la cage, pour que le crochet de fuſée approche près de la petite platine, & ſans pouvoir y toucher; on agrandira

dira le trou de la petite platine pour le paſſage du tigeron *c* de fuſée qui ne doit faire qu'y entrer juſte ; on levera le pivot ſupérieur *e* qui ſera élevé d'une ligne au deſſus de la petite platine ; la groſſeur de ce pivot * ſera d'$\frac{1}{4}$ ligne ; on fera le pont de fuſée, on percera le trou du pivot, & on poſera ce pont en l'attachant avec une forte vis ; on agrandira un peu le trou de la vis, afin de fixer le pont, de maniere que l'arbre de fuſée reſte droit en cage ; dans ce moment on percera les trous des pieds, & on les fixera, comme il eſt dit (958) ; l'arbre de fuſée mis en cage, on fera la fuſée.

2465. Pour faire la fuſée, on ſe réglera ſur la grandeur que l'on en a tracée ſur le calibre, laquelle repréſente la baſe ; le diametre du ſommet de la fuſée ſera de 3 lig. $\frac{8}{12}$ de ligne. On prendra pour faire la fuſée, du laiton bien net & plus épais que le vuide de la cage, afin de le bien écrouir, & qu'il ne faſſe qu'entrer dans la cage ; on percera le trou de la fuſée en ſe réglant ſur la groſſeur de l'arbre ; on rendra ce trou bien net & on l'agrandira, enſorte qu'il ne faſſe que commencer à entrer ſur l'arbre ; on tournera la fuſée à-peu-près de la forme repréſentée en *E* (*Pl. XXXVII, fig.* 4), & toujours en la conſervant plus haute qu'il n'eſt beſoin, afin de pouvoir en ôter après : on diminuera l'arbre au burin avec ſoin, & juſqu'à ce qu'étant bien adouci, il entre très-juſte ſur la fuſée, on fera l'ajuſtement tel qu'il eſt expliqué (art. 2421).

2466. La fuſée ainſi montée ſur ſon arbre, on la tournera deſſus & bien droite de la baſe, on achevera de tourner & adoucir le côté de la roue de fuſée qui doit s'appliquer contre la fuſée ; on tournera auſſi cette roue de l'autre côté, afin qu'il n'y ait plus à ôter de ſon épaiſſeur ; on fera la creuſure pour loger la goutte qui doit aſſembler la roue avec la fuſée ; alors on agrandira le trou de la roue, de ſorte qu'il entre très-juſte ſur l'arbre, & que la roue s'applique ſur la baſe de la fuſée ; en cet état, on préſentera la roue ainſi montée en cage ; ſi cette roue touche à la platine, on reculera de la baſe, &

* Sur l'exécution des pivots il faut conſulter les art. 903, 904, 936, 937, 938, 939 & 940.

juſqu'à ce qu'entre la roue & la platine il y ait un jour convenable pour n'y pouvoir toucher. Si la grande roue moyenne eſt un peu plus élevée que le dedans de la grande platine, il faudra encore reculer la fuſée. On fera la goutte d'acier *F* (*Pl. XXXVIII, fig.* 7); on creuſera le deſſous de la baſe de la fuſée pour y loger l'encliquetage; on exécutera cet encliquetage.

2467. La virole & le fond de barillet *C C* (*fig.* 2) d'une montre eſt formée d'une ſeule piece de cuivre qui eſt creuſée & figurée, comme on voit. Pour faire un barillet il faut donc prendre du cuivre qui étant bien écroui, ait, pour épaiſſeur, la hauteur que doit avoir le barillet; on chaſſe ce cuivre ſur un arbre liſſe de la groſſeur que doit avoir le pivot qui doit rouler dans le barillet; ce pivot ſera de $\frac{5}{12}$ ligne; on tourne d'abord le barillet à-peu-près d'épaiſſeur & de la grandeur tracée ſur le calibre; on réſerve en *h* un rebord à-peu-près de la hauteur de la chaîne; ce rebord eſt tracé ſur le calibre; le petit cercle déſigne le vrai diametre du dehors du barillet, & le grand, le rebord pour la chaîne; on creuſe le dedans d'abord avec un burin ordinaire, & enſuite avec un burin à crochet; on ſe ſert de celui-ci pour unir le fond; le dedans étant ébauché, on tourne le dehors ſelon la grandeur requiſe; on donne au fond l'épaiſſeur convenable que l'on meſure avec un compas d'épaiſſeur; ce fond, pour être ſolide, doit avoir $\frac{3}{12}$ ligne, & le cercle $\frac{3}{12}$ ligne; on réſervera au centre du fond la virole *g g*; cette têtine doit avoir un peu moins que le diametre de l'arbre de barillet, c'eſt-à-dire, un tiers du diametre du barillet, elle doit être épaiſſe de $\frac{4}{12}$ ligne; on fera le drageoir (814) pour le couvercle; on fera le couvercle dont l'épaiſſeur ſera de $\frac{1}{12}$, la têtine de même grandeur & épaiſſeur que celle du barillet; on fera entrer le couvercle bien à force dans le drageoir, on fera une entaille au couvercle pour pouvoir l'ôter.

2468. On fera l'arbre de barillet; on prendra, pour cela, de l'acier qui ait pour groſſeur le tiers du diametre intérieur du barillet; on prendra la meſure pour la longueur de la tête,

comme on l'a expliqué (818); on ébauchera ainſi l'arbre de barillet, laiſſant les tiges plus groſſes que le trou du barillet; on percera, à travers la tête, un trou pour pouvoir y chaſſer le crochet pour le reſſort; l'arbre ainſi ébauché, on le trempera, & on le fera revenir; on le tournera, & on mettra les portées à la meſure priſe pour la hauteur du dedans; on finira les pivots *b*, *c*, qui doivent rouler dans le barillet; on agrandira les trous du couvercle & du barillet pour les faire entrer fort juſte, & libres ſur les pivots de l'arbre. Le barillet ainſi monté, on levera les pivots *d*, *e* de l'arbre, afin de le mettre en cage: pour cet effet, on prendra la hauteur de la cage avec le maître-danſe; on levera la portée pour le pivot *e* que l'on tiendra auſſi gros qu'il ſe pourra, afin d'avoir un bon quarré; cette portée doit être diſtante du barillet, de ſorte que celui-ci étant en cage, il ne puiſſe toucher aux platines.

2469. L'arbre ainſi mis en cage, on pourra faire tout de ſuite le quarré ſelon la méthode indiquée (832 & 833); & on étampera le trou du rochet ſelon le n°. 834. Ce rochet doit être d'acier, les dents inclinées, comme on le voit (*Pl. XXXVII*, *fig.* 7): on fera le cliquet & la vis; on poſera le cliquet comme il eſt vu dans la figure.

2470. Le barillet étant fini, on fera la potence: pour cet effet, il faut tracer ſur le dedans de la petite platine (*Pl. XXXVII*, *fig.* 6) un cercle *D* qui repréſente le barillet; ce cercle régle le derriere de la potence *O*; pour tracer le devant de la potence, on tirera du centre *l* de la roue de champ ponctuée *m*, un trait qui ira au centre du balancier; on tirera du centre du balancier une ligne *f e* qui ſoit perpendiculaire à la premiere; on réſervera en *f* la place du talon de potence; on continuera la potence juſqu'en *h*, afin de garantir la roue de rencontre, dans le cas où la chaîne viendroit à caſſer; la place de la potence tracée, on prendra du cuivre épais que l'on écrouira juſqu'à ce qu'il ſoit prêt à entrer dans la cage; il faut que la potence ſoit aſſez épaiſſe à l'endroit du talon *f*, pour aller toucher au fond de la noyure de la grande moyenne lorſque la petite platine eſt poſée ſur la grande; on

limera bien plan la baſe & le deſſus ; on entaillera le derriere *O* de la potence pour la place de la vis qui doit l'attacher à la platine ; on fera cette vis *t*, & on poſera la potence ; on placera deux pieds avec ſoin, & auſſi diſtants entr'eux qu'il ſe pourra : la potence poſée, on aſſemblera la cage ; on mettra deux goupilles, & par le trou fait à la grande platine pour le balancier, on percera un trou à la potence qui ſera celui du talon dans lequel doit rouler le pivot d'enbas du balancier ; on aura ſoin, en perçant ce trou, de tenir le foret bien droit; cela fait, on baiſſera la potence juſqu'à ce que la roue de grande moyenne étant en cage, elle n'y touche pas ; on baiſſera encore la potence de $\frac{1}{12}$ pour la place de la plaque d'acier ſur laquelle doit rouler le pivot de balancier : la potence miſe de hauteur, on réſervera le talon *f*, & on reculera le plan *f e*, juſqu'à ce qu'il paſſe par le centre de la verge, ayant attention que ce plan demeure perpendiculaire à la ligne tracée du centre de la roue de champ à celle de rencontre : cela fait, on formera la rainure *d d* (*Pl. XXXVIII, fig. 9*) ; le fond de cette rainure doit être parallele audevant de la potence, & les côtés de la même rainure *d d* doivent être paralleles à la baſe de la potence ; cette rainure doit être profonde de $\frac{7}{12}$ de ligne, ſa largeur peut être de 1 ligne $\frac{1}{4}$: on fera le lardon de potence ; on prendra, pour cela, du cuivre dont l'épaiſſeur ſoit double de la profondeur de la rainure ; on figure le lardon comme on le voit en *D* (*fig. 9*) ; la partie *m* doit être entaillée par derriere, juſqu'au centre de la verge, & même plus, pour que la verge de balancier ne puiſſe y toucher ; il faudra même entailler davantage à cauſe de l'épaiſſeur de la plaque d'acier qui doit recouvrir le trou de la roue de rencontre ; le trou de la roue de rencontre ne ſe fait pas actuellement ; il faut s'en figurer la place, afin de ne pas faire le coude *p* trop diſtant de ce trou, car il faut que le nez de potence entre dans la roue de rencontre ; la baſe du lardon doit être fort plane, & les côtés parfaitement paralleles, & de largeur à entrer très-juſte dans la rainure de la potence : le lardon ainſi ajuſté, on fera la vis qui doit l'aſſembler avec

la potence ; enſuite on fera la vîs de rappel *g* (*fig.* 9, & l'entaille au lardon *D* ; on fera la contre-potence *I* (*fig.* 10) que l'on placera comme on le voit en *o n* (*Pl. XXXVII, fig.* 6).

2471. On marquera la place du garde-chaîne: pour cet effet, on tirera la lig. *S* (*Pl. XXXVII, fig.* 6) qui repréſente la chaîne; on placera le *plot* aſſez en dehors de la platine, pour que l'appui de la chaîne ne l'approche pas trop près: la poſition du plot *Q* détermine la longueur du garde-chaîne *R*, car lorſque le crochet de fuſée arcboute contre le bout *b*, la ligne qui paſſe par le milieu *b a* du garde-chaîne doit être perpendiculaire au devant du crochet de fuſée, ſuppoſé dirigé au centre, ainſi que cela doit être ; on rivera le plot ſur le dedans de la petite platine (*fig.* 6), on fera la fente pour le garde-chaîne, & l'on exécutera le garde-chaîne tel qu'il eſt vu en perſpective (*Planche XXXVIII, fig.* 8) ; on percera le plot & le garde-chaîne d'un trou pour la goupille ; le mouvement du garde-chaîne autour de ſon centre doit être fort petit ; il faut ſimplement qu'il puiſſe approcher tout contre la platine (*Pl. XXXVII, fig.* 6) : c'eſt dans le moment que le crochet de fuſée arcboute, & que cela empêche de remonter la montre plus haut, & il faut que le garde-chaîne puiſſe s'écarter de la platine, afin de laiſſer paſſer entre la platine & lui le crochet de fuſée : ce chemin du garde-chaîne dépend de la maniere dont on entaille le bas de la plaque qui entre dans le plot ; elle ne doit l'être que pour permettre le chemin ſuſdit ; car lorſque ce chemin eſt trop grand, le bout *b* va toucher à la fuſée : on fera le reſſort *V* dont l'effet eſt de tenir le garde-chaîne écarté de la platine pendant tout le temps que la chaîne ceſſe de le preſſer.

2472. Pour achever d'exécuter les pieces portées par la petite platine, on fera le deſſus, c'eſt-à-dire, la couliſſerie, la roſette & le coq ; on commencera par la couliſſe dont les dimenſions ſont tracées ſur le calibre ; l'épaiſſeur de la couliſſe étant finie, doit être de $\frac{4}{12}$ de ligne ; on prendra du cuivre deux fois plus épais, afin qu'en l'aminciſſant au marteau, il ſoit très-dur. Pour former la couliſſe, il faut prendre du cuivre comme pour faire une roue qui auroit pour rayon la

diſtance d'une des pattes *P* (*Planche XXXVII*, *fig.* 8) au centre *d* du balancier; on la figure après qu'elle eſt tournée; de même pour faire le rateau, il faut d'abord faire une roue qui ait pour rayon *E d*; on coupera donc la couliſſe, & le rateau en conſéquence; la couliſſe coupée & écrouie, on la dreſſera à la lime des deux côtés; on percera un petit trou; au centre de ce trou, on tracera pluſieurs cercles concentriques; le plus grand repréſentera le bord extérieur *e f* qui eſt la grandeur même du balancier; on tracera un ſecond cercle *g* qui repréſentera la grandeur du rateau, & enfin un troiſieme cercle qui repréſentera le bord intérieur de la couliſſe; cela fait, on appliquera cette plaque ſur un arbre à cire; le côté tracé étant en dehors, on dreſſera cette plaque ſur le tour, pendant que la cire eſt chaude; enſuite on creuſera avec des échoppes la rainure pour y loger le rateau, ainſi que cela eſt vu en *G G* (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 14); on réſervera le filet *b* qui doit entrer dans la rainure du rateau; c'eſt proprement ce filet qui forme la couliſſe, ainſi c'eſt de ſa perfection que dépend la bonté de la couliſſerie, partie d'une aſſez difficile exécution; ce filet doit être coupé très-net & quarrément en tout ſens; la profondeur de la rainure doit être telle qu'il reſte une épaiſſeur de $\frac{1}{12}$ de ligne au fond; on dreſſera les deux côtés de la couliſſe au burin, enſorte qu'elle ſoit parfaitement plane: ſi elle avoit plus que l'épaiſſeur indiquée, il faudroit l'amincir ſur le tour, car on court riſque en en ôtant à la lime de la rendre inégale d'épaiſſeur, défaut eſſentiel qu'il faut éviter; on adoucira avec ſoin la rainure, mais pour le mieux, ce doit être à la coupe du burin à terminer le fond; cela fait, on coupera tout-à-fait la couliſſe par l'endroit où on avoit tracé le cercle intérieur. On mettra la plaque qui doit ſervir à former le rateau ſur un arbre à vis, dont le pivot ait $\frac{1}{12}$ de ligne de diametre; on tournera les côtés bien plans, & enſuite le bord juſqu'à ce qu'il entre fort juſte dans la rainure de la couliſſe; alors on mettra ſur le filet de la couliſſe du noir, ou pierre à huile; on fera rouler le rateau dans la rainure de la couliſſe, enſorte que le filet marquera ſur le rateau l'endroit

où il frotte : par cette marque on fera la rainure au rateau avec une échoppe bien quarrée ; on ne fera pas cette rainure bien profonde, on attendra pour cela que l'on ait coupé la couliſſe en un endroit ; par ce moyen on verra comment le rateau s'applique ſur la rainure de la couliſſe ; on achevera ainſi de tourner la rainure du rateau, juſqu'à ce que le filet de la couliſſe entre parfaitement dans la rainure du rateau, & que le plan du rateau touche au fond de la rainure de la couliſſe ; cela fait, on amincira le rateau juſqu'à ce qu'il ne déborde pas le deſſous de la couliſſe, mais qu'il paroiſſe ne former qu'un même plan avec elle ; on tournera ainſi le deſſous du rateau juſqu'au centre; on l'ôtera de deſſus ſon arbre ; on agrandira le trou du balancier fait à la petite platine, juſqu'à ce qu'il ait la même grandeur que le trou du rateau ; on appliquera le rateau ſur le dehors de la petite platine, faiſant paſſer par le trou du balancier & par celui du rateau un arbre liſſe qui les tienne aſſemblés ; en cet état, on appliquera la couliſſe ſur le rateau, ce qui la centrera avec le trou du balancier fait à la platine ; on ſerrera la couliſſe avec des tenailles, ſur la platine, & alors on percera par les trous faits à la platine pour les vis de couliſſe des trous à cette couliſſe ; on agrandira ces trous l'un ſur l'autre ; on démontera le tout ; on taraudera les trous de la platine ; on fera les vis, & la couliſſe ſera poſée.

2473. La couliſſe étant poſée, on la découpera ſelon la figure tracée ſur le calibre ; pour cet effet, lorſqu'elle eſt attachée à la platine, on tracera du centre *d* (*Pl. XXXVII, fig.* 8) un trait de la grandeur du balancier ; c'eſt par ce trait que l'on doit limer l'extérieur *e f*, & l'on ne doit reculer les entailles *D D* pour le paſſage de la cheville de renverſement que par la moitié de la circonférence ; on ne porte ces entailles en *p* & *q* que lorſque l'échappement ſera fini, & pour le mieux il ne faut commencer ces entailles qu'alors.

2474. La couliſſe & le rateau étant faits & poſés, on fera la roue de roſette ; on la tiendra de la grandeur marquée ſur le calibre (plutôt plus que moins), & on lui donnera la

même épaiſſeur qu'au rateau ; on fendra cette roue au nombre de 24 dents, & on la rivera ſur un petit arbre *q s r* (*fig.* 12); cet arbre eſt d'acier trempé, & pris au bout d'une tige de la groſſeur *s* de l'aſſiette ; on leve d'abord le pivot *r*, & enſuite une portée pour y river la roue ; on leve une petite tige au deſſus de l'aſſiette *s* ; l'épaiſſeur doit être celle du fond de la rainure de la couliſſe, par la raiſon que la roſette doit être de même épaiſſeur que la couliſſe, & que cette aſſiette ne doit pas déborder la roſette ; la tige *q* doit ſervir à former le quarré pour recevoir l'aiguille de roſette ; ainſi la groſſeur de ce quarré doit être la même que celui de la fuſée, afin que la même clef ſerve aux deux quarrés ; on rivera la roue ſur ſon arbre, ſans que celui-ci ſoit encore ſéparé de ſa tige, afin d'avoir la facilité de retourner la roue ſi on la laiſſe trop grande pour ſon engrenage avec le rateau.

2475. Pour trouver le nombre ſur lequel on doit fendre le rateau, pour que ſes dents ſoient parfaitement de groſſeur convenable pour ſon engrenage avec la roue de roſette, on fera la proportion: Le diametre(ou rayon)de la roue de roſette eſt au diametre du rateau, comme le nombre de dents de la roue de roſette eſt au nombre cherché pour le rateau : ici la roſette a 2 lignes $\frac{1}{2}$ de rayon $= \frac{10}{12}$ de ligne, & le rateau a 4 lignes $\frac{1}{4}$ $= \frac{51}{12}$; on a donc 30 : 51 : : 24 : *x* : on trouve pour 4e terme le nombre 40 qui exprime le nombre de dents que doit avoir le rateau pour faire engrenage avec la roue ; mais comme c'eſt la roue de roſette qui mene, elle devra avoir les dents plus groſſes ; on fendra donc le rateau ſur le nombre 42.

2476. Le rateau étant fendu, on en arrondira les dents qu'il faut conſerver pleines, afin que l'engrenage ſe faſſe très-juſte & ſans le moindre jeu. On arrondira de même la roue de roſette, & pour juger à-peu-près de la force de l'engrenage, on fera rouler le centre du rateau ſur l'arbre liſſe mis dans le trou du balancier fait à la petite platine : ſi la roue eſt trop grande, on la diminuera ſur le tour, on l'arrondira de nouveau ; mais on attendra d'achever l'engrenage, que l'on ait préſenté la couliſſe, le rateau & la roue de roſette en place;

or pour cela, il faut entailler la couliſſe *D D* (*fig.* 13), de ſorte que la roue de roſette puiſſe s'y loger pour aller atteindre le rateau ; cette entaille *T T* de la couliſſe doit être faite ſelon ſon épaiſſeur, afin de ne pas trop affoiblir la couliſſe, & le fond ſert d'ailleurs à recouvrir la roue.

2477. Pour pouvoir examiner & terminer l'engrenage de la roue de roſette avec le rateau, on peut faire une fenêtre à la couliſſe, comme on le voit en *E K* dans la figure 8 (*Planche XXXVII*) ; mais cette fenêtre affoiblit la couliſſe, ainſi il vaut mieux la pratiquer à la platine au-deſſous du point de contact de la roue & du rateau ; l'engrenage étant fini, on ſéparera l'arbre de roue de roſette, de la tige d'où on l'a pris.

2478. Pour achever ce qui concerne la couliſſerie, on fera la roſette. On prend pour cela, une plaque d'argent que l'on creuſe en-deſſous, comme on le voit en *L L* (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 12) ; enſuite on la poſe ſur la roue appliquée ſur la platine, ce qui ſert à centrer la roſette ; on perce par les trous faits à la platine, les trous aux pattes de la roſette ; on fait deux vis, & la roſette eſt poſée : on fait enſuite la coupe ou ſection *g g* qui eſt une portion de cercle tracée du centre du balancier percé à la petite platine ; cette ſection doit, pour la propreté, être parfaitement jointe au bord de la couliſſe, & le plan de la roſette & de la couliſſe doivent ſe confondre, c'eſt-à-dire, que la couliſſe & la roſette ſont de même épaiſſeur, & bien planes ; on fera le quarré pour l'aiguille de roſette, & on ajuſtera deſſus cette aiguille qui doit être d'acier, & avoir la forme *N* (*fig.* 12).

2479. L'aiguille de roſette étant faite, & l'engrenage achevé, on remontera la couliſſerie, la roſette & l'aiguille, afin de marquer la longueur que doit avoir le rateau, & le découper en conſéquence ; pour cet effet, on conduira l'aiguille de roſette *n o* (*Pl. XXXVII. fig.* 8) à l'extrémité *o* de la roſette ; on marquera un point *s* ſur le rateau qui ſoit en dehors du point de contact de l'engrenage *E K* d'environ deux dents, afin que l'aiguille étant conduite à ce point, l'engrenage ſe faſſe bien en plein ;

la portée de la tige qui doit recevoir la chauſſée *u z* (*fig.* 7; *Pl. XXXVII*); cette portée doit être diſtante du ſommet du pont *c c* réſervé au centre de la platine d'environ $\frac{2}{12}$ de lig. afin que l'huile du pivot de longue tige ne puiſſe être attirée par la chauſſée : on ôtera la roue de la cage, & on tournera le pivot de la chauſſée qui aura $\frac{4}{12}$, afin que la portée ſoit de bonne largeur, & propre à arrêter la chauſſée ſans équivoque ; ce pivot ou tige de la chauſſée étant bien tourné, on prendra pour faire la chauſſée, de l'acier tiré à pignon de 10, on en coupera un bout de la longueur requiſe pour que la tige le *déborde*, comme on voit (*fig.* 7), & l'on choiſira l'acier de la groſſeur convenable ; on arrondira, pour cet effet, quelques dents de la roue de renvoi fendue ſur 30; & avec le calibre à pignon, on prendra, comme il eſt dit (529), 4 dents pleines ; & comme ici c'eſt le pignon qui mene, on le choiſira un peu plus gros ; on prendra 4 dents $\frac{1}{2}$; on marquera à chaque bout de l'acier coupé, un point qui ſoit bien concentrique ; alors on ébauchera la chauſſée à la lime, réſervant à un bout l'épaiſſeur convenable pour le pignon *u* qui doit être un peu plus épais que la roue de renvoi, & on le percera ſur le tour, ſelon la méthode preſcrite (910); on fera, pour cet effet, un foret un peu plus petit que le bout de la tige : le trou percé, on l'agrandira, ſelon l'art. (911); & ſelon le n°. (912), on le dreſſera ſi le trou n'eſt pas percé droit : cela étant fait, on le tournera, & on lui donnera la groſſeur du pivot de fuſée, ſur lequel doit être formé le quarré pour remonter la montre, afin que la même clef ſerve à tous les quarrés ; on tournera le pignon de groſſeur & d'épaiſſeur ; on réſervera au fond des ailes du côté de la chauſſée une portée propre à recevoir la roue de cadran, afin qu'elle ne frotte pas contre les ailes du pignon, défaut très-commun, parce que les Ouvriers croyant rendre leurs pignons de plus belle apparence ; font une creuſure au fond des ailes : on finira les ailes du pignon, on adoucira les faces, la chauſſée & le pignon même. On fera le canon de la roue de cadran ; on percera le trou plus petit que la chauſſée, afin de ne le faire entrer

deſſus fort juſte, qu'après qu'on en a agrandi le trou, que le canon eſt tourné, & la roue rivée ; alors on acheve de le faire entrer ſur la chauſſée ; mais ſi celle-ci n'a pas la figure de l'équarriſſoir qui a ſervi à faire le trou du canon de roue de cadran, on tournera légerement la chauſſée pour que le canon de cadran y entre ſans balotage, ni d'un bout ni de l'autre ; on la fait enſuite tourner librement.

2484. La roue de cadran ainſi ajuſtée, on mettra la roue de longue tige en cage, on placera la chauſſée ſur la tige, & la roue de cadran ſur la chauſſée ; alors on prendra la meſure pour la longueur du pignon de renvoi : pour cet effet, on choiſira de l'acier de groſſeur convenable ; ce pignon étant de 8, & menant la roue, on prendra près de 4 dents ſur les pointes ; on coupera un bout de cet acier qui aura pour longueur, outre la hauteur priſe du fond de la platine au-deſſus de la roue de cadran, ce qu'il faut pour former le pivot qui doit entrer dans la platine, & pour celui qui doit rouler dans le pont *T*, il vaut mieux le couper un peu plus long : on percera ce pignon ſur le tour, d'un trou propre à recevoir un arbre liſſe de $\frac{1}{12}$ de ligne de groſſeur ; on ébauchera ce pignon à la lime, réſervant l'épaiſſeur convenable pour les ailes de pignon, & pour la rivure de la roue de renvoi ; on tournera ce pignon, on le finira & on le trempera : quand il ſera trempé & revenu bleu, on le polira, on achevera de tourner l'aſſiette pour y river la roue de renvoi ; on rivera cette roue, enſuite on levera le pivot inférieur qui aura près de $\frac{6}{12}$ de ligne de diametre, on ne reculera que peu la portée, afin de ne pas faire deſcendre la roue plus bas que le pignon de chauſſée : on agrandira le trou fait pour ce pivot à la grande platine, & l'on préſentera la roue, afin de voir ſi elle eſt élevée de la quantité convenable pour engrener en plein dans le pignon de chauſſée ; on reculera petit à petit la portée, juſqu'à ce que cela ſoit ; on mettra la roue de cadran en place, & on tournera du pignon de renvoi juſqu'à ce qu'il ſoit à fleur de la roue de cadran ; alors on fera la face du pignon, & on levera à fleur du pignon le pivot pour le pont *T* ; on fera ce pont, &

on le poſera pour le rendre inébranlable : lorſque la roue eſt bien droite, on perce deux trous dans leſquels on chaſſera des pieds.

2485. Les roues de cadran étant faites, il ne reſtera plus que les pignons de petite moyenne & de champ à faire, & celui de rencontre, & l'on aura un mouvement fait en blanc : on fera donc ces pignons *k*, *l*, *m* (*Pl. XXXVII*, *fig*, 4) ; on choiſira de l'acier tiré à pignon de 6 ; on arrondira quelques dents des roues de grande moyenne, de petite moyenne & de champ, & l'on prendra les groſſeurs de ces pignons ſelon l'art. (535), un peu plus de 3 dents ſur les pointes : on coupera les pignons de petite moyenne & de champ de la longueur du dehors du pont *ff*, au dehors de la petite platine, plus que moins ; on ébauchera les pignons, on donnera la longueur requiſe aux corps pour y river les roues : or pour cela, on obſervera que la petite moyenne doit paſſer au-deſſus de la roue de fuſée, & que la roue de champ doit être élevée paſſé le milieu de la cage du côté de la petite platine ; la longueur du pignon de rencontre eſt déterminée par la diſtance du nez de potence à la contre-potence : on tournera ces pignons, on aura ſoin de ne pas faire les tiges trop minces, afin qu'elles ne puiſſent pas fléchir, & que d'ailleurs les pivots étant faits, il reſte une portée aſſez large pour ne pouvoir creuſer les platines ; on polira les pignons, on levera les pivots que l'on tiendra plus gros qu'il ne faut : on tiendra les portées plus hautes, afin qu'en finiſſant, on puiſſe faire monter ou deſcendre la roue, & pour mettre ces pignons en cage, on creuſera en chanfrein les trous des pivots du pont & de la platine afin que ces portées y entrent, on reculera les portées ou aſſiettes pour y river les roues ; on rivera ces roues, & le mouvement ſera fait en blanc.

Du Finiſſage de la Montre.

2486. On fera faire le cadran auquel on donnera une courbure propre à ne pas toucher aux ponts de la cadrature ;

avant de faire le cadran, on perce les trous des pieds qui doivent l'attacher au mouvement : on attache communément les cadrans de montre avec trois pieds qui paſſent en dedans de la grande platine, & là ils ſont percés chacun d'un trou pour recevoir les goupilles qui arrêtent le cadran : or cette méthode eſt défectueuſe ; car ſi on a beſoin de lever le cadran pour examiner la cadrature, il faut ôter le mouvement de la boîte, afin de tirer les goupilles, & en mettant & en ôtant ces goupilles, on court riſque, en échappant, de courber les roues du mouvement ; il eſt donc préférable d'attacher le cadran avec une vis, & mettre deux pieds qui ne faſſent qu'entrer dans la platine, pour le contenir ; par ce moyen, on leve le cadran très-facilement, comme dans les montres à répétition. Le cadran ainſi fait, & ajuſté, on baiſſera les ponts *f f*, *T*, s'ils ſont trop hauts. On ne doit agrandir le trou de remontoir du cadran pour le paſſage de la clef, que lorſqu'on a fini l'engrenage de fuſée, & mis les deux grandes roues en cage ; car ſi l'engrenage étoit trop foible, on rapprocheroit la fuſée contre le centre, & le quarré de fuſée ne ſeroit plus au centre du trou.

2487. La premiere choſe à laquelle il faut travailler pour finir une montre, c'eſt de bien dreſſer & adoucir les platines, faire entrer librement la petite platine ſur celle des piliers, paſſer un équarriſſoir dans les trous de goupilles des piliers, & de ſorte que le trou affleure avec la platine, afin que la goupille preſſe la petite platine contre l'aſſiette du pilier, & que les deux platines étant aſſemblées, ſoient inébranlables. Il faut que les quatre trous des piliers pour les goupilles ſoient de même groſſeur : ces trous peuvent être de $\frac{1}{12}$ de ligne paſſé ; il eſt néceſſaire que la goupille ſoit forte pour être miſe & ôtée aiſément.

2488. Cela fait, on mettra la roue de grande moyenne en cage, on mettra les quatre goupilles aux piliers, & l'on verra ſi la roue eſt bien de hauteur ; ſi cela n'eſt pas, on reculera de l'une ou l'autre portée, ſelon qu'il ſera néceſſaire, pour donner les jours à la roue, ſoit avec la platine, ou avec

la roue de fuſée ; les portées étant tournées de hauteur, on polira de nouveau les pivots. Si les trous ſont trop grands, il faudra les reboucher, enſuite les agrandir, & de ſorte que le trou étant bien net, la roue tourne librement & ſans jeu ſur ſes pivots : alors on fera les réſervoirs pour l'huile.

2489. Il faut obſerver ici que pour reboucher les trous de pivots, il ne faut pas ſe ſervir de laiton tiré à la filiere ; le milieu de ce fil eſt rarement net, les parties en ſont déſunies, il s'y forme des cavités : il faut prendre du cuivre de chaudiere, d'un beau jaune, fort épais, & l'écrouir à plat ſeulement avec la tête du marteau : on coupe enſuite des petites bandes que l'on arrondit à la lime.

2490. On mettra la roue de fuſée en cage avec celle de grande moyenne, on goupillera la cage, on mettra le pont de fuſée, & l'on examinera les jours entre la grande roue, & celle de fuſée, & du crochet de fuſée avec la petite platine ; ſi la fuſée eſt trop haute, c'eſt-à-dire, que la roue de fuſée approche trop près de la grande roue & de la platine, & le crochet de fuſée de la petite platine, alors il faudroit tant ſoit peu tourner la fuſée de la baſe & du ſommet ; mais ſi la fuſée n'étant pas trop haute, approche trop de l'une ou l'autre platine, on tournera en conſéquence de l'une ou l'autre portée de l'arbre de fuſée ; on polira les pivots & portées de cet arbre.

2491. La fuſée miſe de hauteur, on examinera l'engrenage ; pour cet effet, on arrondira quelques dents de la roue de fuſée ; on percera au-deſſus du point de contact de l'engrenage un trou *t* (*Pl. XXXVII, fig. 6*) aſſez grand pour ſe rvir defenêtre propre à voir l'engrenage ; on remontera en cage la roue de fuſée & de grande moyenne ; on preſſera un doigt contre la tige de grande roue moyenne ſaillante en dehors, afin de produire un frottement qui empêche de tourner la roue autrement que par la preſſion des dents de la roue de fuſée, que l'on conduira avec l'autre main : par ce moyen on juge parfaitement de la nature de l'engrenage, en faiſant concourir

le

le tact & la vue, on voit ainſi toutes les parties de la menée.

2492. Si l'engrenage eſt un peu trop fort, la roue de fuſée pourra reſter en place ſans déjetter les trous, parce que la fuſée étant *plantée* *, on ne fera que tourner tant ſoit peu de la roue : lorſqu'un engrenage eſt beaucoup trop fort, ſi le pignon eſt de bonne groſſeur, alors il ne faut pas tourner la roue, parce que le pignon deviendroit trop gros ; mais il faut la déjetter en dehors ; & ſi l'engrenage eſt foible, il faudra étirer le trou de fuſée pour rapprocher la roue du pignon dans lequel elle engrene ; on étire ce trou, de ſorte que l'engrenage étant de la force convenable, le pivot paſſe dans le milieu du trou ; par cette précaution, pour reboucher le trou, il ne faut que tourner une virole.

2493. Le trou du gros pivot de fuſée étant ainſi étiré pour l'engrenage, on l'agrandira de ſorte qu'il y ait tout autour du pivot un vuide convenable pour faire une virole épaiſſe & ſolide. Pour reboucher ce trou, on tournera une virole *G* (*Pl. XXXVII, fig.* 12) ſur laquelle on levera une portée *z* pour former un canon qui entre dans le trou du pivot de fuſée ; on laiſſera déborder le canon en dedans de la noyure, de la quantité requiſe pour la rivure : on mettra ce côté du trou en chanfrein, on rivera ce canon ſur la platine, on mettra de l'huile pour la raiſon expliquée (2455) : même obſervation à tous les trous que l'on rebouche.

2494. Le trou de fuſée ainſi rebouché, on l'agrandira pour y faire entrer juſte & librement le pivot ; on mettra la petite platine en place ſur celle des piliers, on étirera, comme il ſera néceſſaire, le trou pour le paſſage du tigeron de chauſſée, & de ſorte que la roue reſte droite en cage ; on fera la même choſe au trou du pont de fuſée qui devra être étiré, & de ſorte que la roue étant droite, le pivot demeure juſte dans le milieu du trou du pont, afin que celui-ci puiſſe

* On dit qu'une roue eſt *plantée*, lorſqu'on en a rebouché les trous, qu'elle eſt droite dans la cage, & qu'elle tourne librement.

être rebouché au centre (mais ſi le trou devoit être beaucoup jetté de côté, enſorte qu'il ne reſtât pas aſſez de matiere autour du trou, il vaudroit mieux, dans ce cas, couper les tenons du pont de fuſée, & mener ce pont, de maniere que la roue fût droite en cage, & percer de nouveaux trous pour les pieds): on rebouchera les trous du pont avec un bouchon non percé; & pour percer ce trou, on ſe ſervira de l'outil à mettre les roues droites en cage, décrit (504); on percera le trou par le point marqué avec l'outil, on l'agrandira convenablement, & la roue de fuſée étant bien droite & libre en cage, & l'engrenage de la force convenable, on fera les réſervoirs pour l'huile des pivots.

2495. On marquera au-deſſus de l'entonnoir *g g* du gros pivot de fuſée (*Pl. XXXVII, fig.* 4) l'endroit où l'on doit faire deſcendre l'origine du quarré de fuſée; on fera ce quarré ſelon les regles preſcrites; on arrondira les dents de la roue de fuſée, & on finira l'engrenage avec les attentions preſcrites (972 & ſuiv.)

2496. On tournera la fuſée prête à être taillée; pour cet effet elle doit être creuſée du milieu en forme de cloche: pour trouver le nombre de tours de chaîne qu'elle doit contenir, afin que la montre marche 30 heures, on comptera les dents de la roue de fuſée; celle-ci eſt de 54, & le pignon où elle engrene 12 (2385); elle fait donc un tour en 4 heures $\frac{1}{2}$ qui ſont contenues 6 fois $\frac{2}{3}$ dans 30 heures: donc pour que la montre marche 30 heures, il faut que la fuſée contienne 6 tours $\frac{2}{3}$ de chaîne.

2497. On taillera la fuſée, ainſi qu'on l'a expliqué (art. 465 & ſuiv.), on fera à l'origine de la rainure, du côté de la baſe de la fuſée *E* (*Pl. XXXVII, fig.* 6), une creuſure avec une fraiſe mince pour y loger le crochet de la chaîne, on percera un trou pour y chaſſer la cheville *p*; c'eſt ſur cette cheville que le crochet de la chaîne *S* s'arrêtera: on choiſira une bonne chaîne d'Angleterre qui ſoit juſte de l'épaiſſeur de la rainure de la fuſée, & on la coupera de longueur, ſelon l'art. (468).

2498. On percera tout contre le rebord du barillet *D* (*Pl. XXXVII, fig. 4*) un trou de foret incliné comme le crochet de la chaîne qui doit y entrer ; on entourera le barillet avec la chaîne, & on comptera le nombre des tours qu'elle fait, cela donnera le nombre de tours que le reſſort doit faire (468) ; ſi la chaîne fait 4 tours ſur le barillet, on fera faire un reſſort qui faſſe 6 tours $\frac{1}{2}$, afin qu'ayant un tour de bande en bas, lorſque le reſſort ſera monté, il reſte encore un demi-tour ; cela eſt néceſſaire pour avoir un reſſort moins expoſé à caſſer & à changer de force.

2499. Pour faire exécuter le reſſort, il faut mettre les crochets à la virole de barillet, & à l'arbre ; & le reſſort étant fait, on fera les ouvertures au fond du barillet & au couvercle pour la barrette ; on fera cette barrette, on placera le barillet & la fuſée en cage, & on égaliſera la fuſée à ſon reſſort, ainſi qu'on l'a expliqué (469 & ſuiv.).

2500. On fera faire l'effet au garde-chaîne que l'on amincira, s'il eſt trop épais, ce qui ſe voit, lorſqu'il arrête le crochet avant que la chaîne entoure le dernier tour de la rainure ; & cela étant arrangé, on fera au bout du garde-chaîne un creux angulaire contre lequel le crochet de fuſée ira porter, de ſorte que l'effort de la main ne pourra faire monter ni deſcendre le garde-chaîne.

2501. On ajuſtera ſur le quarré de fuſée un entonnoir *E* (*fig. 7*), dont le bord ſupérieur approche tout contre le cadran, & ſans gêner la liberté de la fuſée, & le deſſusentrera juſqu'au bas du quarré : cet entonnoir eſt d'acier.

2502. On fera les engrenages des roues de cadran, & pendant que l'on eſt à cette partie, on ajuſtera les aiguilles : nous ne répéterons pas ces opérations ; on peut conſulter les art. (*969 & ſuiv.*) pour les engrenages ; & les art. (1201 *& ſuiv.*) pour l'ajuſtement des aiguilles.

2503. On fera l'engrenage de la grande roue moyenne avec le pignon de la petite roue moyenne : pour cet effet, on verra d'abord ſi l'engrenage eſt bon ; dans ce cas, on levera les pivots de la petite roue moyenne, ſelon les dimenſions

prescrites, & on rebouchera les trous à taraud avec des bouchons percés sur le tour; on fera l'engrenage, on pratiquera une fenêtre à la grande platine pour le voir, &c.

2504. On pourroit maintenant achever l'engrenage de la petite roue moyenne avec celle de champ; mais comme on ne peut faire l'engrenage de champ & planter la roue que lorsque le balancier & la roue de rencontre est posée, il vaut mieux attendre, pour terminer cet engrenage, que la roue de rencontre soit plantée: nous allons maintenant parler de l'exécution de cette partie.

De l'exécution de l'Echappement: Du Balancier.

2505. J'ai dit (art. 575) que l'or est la meilleure matiere dont on puisse se servir pour le balancier d'une montre; mais comme tous les Horlogers n'ont pas la facilité de préparer de l'or, & que d'ailleurs ces sortes de balanciers deviennent trop coûteux pour des montres ordinaires, à cause du déchet de l'or, j'emploie pour celles-ci des balanciers de cuivre parfaitement durcis & dorés avec soin, ce qui les garantit du verd de gris: le cuivre est préférable à l'acier, n'étant pas sujet au magnétisme (556 & 557). Pour faire un tel balancier, il faut le finir entiérement, le mettre de pesanteur, le dorer, &c, avant de le river. Pour cet effet, il faut commencer par déterminer le poids qu'il convient donner à ce balancier, relativement au nombre de vibrations, à la grosseur des pivots, & à la force de mouvement de la machine, &c; & quand le balancier, l'échappement & la montre sont terminés, on donne l'harmonie convenable entre le régulateur & le moteur. Il faut observer que pour suivre cette route, il faut partir d'après une montre bien construite, qui ait subi les épreuves requises; alors si le ressort moteur est un peu trop fort ou trop foible, on change le ressort, selon qu'il est nécessaire. Nous avons donné (art. 2436 *&f.*) les dimensions d'une telle montre; c'est d'après ces dimensions que nous exécutons celle-ci; ou si l'on veut changer le poids du balancier, selon la force du ressort, on ne rivera pas

tout-à-fait le balancier ſur la verge, & quand il ſera mis de poids, on l'ôtera pour le dorer, on le rivera enſuite & on mettra la cheville de renverſement.

2506. Pour faire le balancier, on prendra du cuivre de chaudiere que l'on écrouira avec ſoin, & juſqu'à ce qu'on l'ait preſque réduit à l'épaiſſeur qui lui convient, qui eſt ici $\frac{3}{12}$ de ligne (2480); on percera un trou qui ſoit plus petit que le pivot de l'arbre à balancier (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 19) décrit (2434), on fera entrer le trou du balancier fort juſte ſur le pivot de l'arbre, on croiſera le balancier en trois, laiſſant les barrettes larges, ainſi que le champ; on tournera le balancier droit & rond, mais plus épais & plus grand qu'il n'eſt beſoin; enſuite on l'ôtera de deſſus l'arbre, on le limera bien plan des deux côtés, on diminuera la largeur des barrettes & du champ, enſorte qu'il ne peſe qu'environ 10 grains; on le remettra de nouveau ſur l'arbre pour achever de le tourner parfaitement rond, & de 10 lignes de diametre, & de l'épaiſſeur donnée: on achevera les barrettes que l'on arrondira, pour que les ſaletés ne puiſſent s'y arrêter, & pour le mettre du poids requis (7 grains, voy. art. 2377); on étrecira le champ en ſe réglant ſur des traits fins faits ſur le tour; cette attention eſt néceſſaire pour que le balancier étant tout monté ſur ſa verge, il ſoit d'équilibre.

2507. On ajuſtera la plaque d'acier *P* ſur la potence (*Pl. XXXVII*, *fig.* 6); cette plaque n'a beſoin que d'environ $\frac{2}{12}$ d'épaiſſeur; il faut percer le trou pour la vis, de ſorte qu'il ſoit en dehors de la creuſure faite à la grande platine, afin que la tête de cette vis n'ait pas beſoin d'être noyée; on prendra donc cette grandeur *P h* (*fig.* 5), & on la portera du centre *h* (*fig.* 6) ſur la potence; on percera le trou à la plaque & à la potence, on taraudera le trou de celle-ci, on fera la vis avec une bonne tête; & comme la tête de cette vis toucheroit à la grande platine, on y fera un trou pour ſon paſſage, on mettra la grande roue moyenne en cage, & on verra ſi la plaque d'acier en approche trop près; ſi cela eſt, & la plaque n'étant pas trop épaiſſe, on baiſſera de la potence: cela fait, on limera du de-

dans du talon de potence pour le réduire à $\frac{1}{12}$ de ligne d'épaiſſeur qu'il doit avoir ; on réduira à la même épaiſſeur le coqueret de cuivre du balancier, on trempera le coqueret d'acier, & la plaque du talon de potence ; on ne fera pas revenir les bouts ſur leſquels les pivots doivent porter, afin de leur conſerver toute leur dureté, & qu'ils ne ſe creuſent pas par le frottement du bout du pivot : pour cet effet, on pincera les bouts de la plaque & du coqueret, avec des tenailles à goupilles, & l'on préſentera l'autre bout à la chandelle, afin qu'il devienne bleu juſqu'à la pince ; on polira le coqueret d'acier & la plaque ; & après les avoir bien dreſſés avec une lime non trempée, & de la pierre à huile, pour les polir, on ſe ſervira de potée d'étain & d'une lime de cuivre.

2508. En parlant de l'exécution de la couliſſerie, nous avons preſcrit des ſoins qui nous diſpenſent de répéter ici l'ajuſtement de cette partie ; ainſi nous ſuppoſons la couliſſe faite, & enſorte qu'elle reſtera à la hauteur qu'on lui a donnée. Il en eſt de même du coq : nous ſuppoſons qu'il a la hauteur qui lui convient pour le jeu du balancier, & il vaut mieux qu'il en ait plus que moins, afin que ſi le balancier ne tourne pas parfaitement droit, il ne puiſſe toucher ni au coq ni à la couliſſe ; & de la maniere dont il a été exécuté, ſes pieds doivent plaquer parfaitement ſur la platine, & ſans qu'il ſoit beſoin de les limer pour les dreſſer ; ils l'ont été ſur le tour, ce qui eſt préférable : le plan du balancier doit être parfaitement parallele à la platine ; ainſi il ne faut que placer les tenons aux pattes du coq, ce que l'on fera avec les précautions indiquées (958 *& ſuiv.*) ; mais avant cela on a dû faire vuider & graver ce coq, ainſi que cela ſe pratique, & comme on le voit (*fig.* 9) : nous obſerverons ici pour les tenons & vis du coq qu'il faut avoir grand ſoin que la preſſion des vis ne tende pas à courber la platine, ainſi que cela arrive fréquemment ; car alors cela donne trop ou trop peu de jeu à la roue de rencontre, ce qui eſt capable de faire varier & arrêter la montre, ainſi que je l'ai vu arriver. Pour éviter ce défaut, il eſt eſſentiel, 1°, que les pattes du coq poſent bien à plat

ſur la platine ; & 2°, il faut que les creuſures du coq, pour loger les têtes des vis ſoient très-plates du fond, & plus grandes que les têtes des vis, afin que ces têtes ne puiſſent toucher aux côtés des creuſures : cela étant ainſi préparé, on pourra faire la verge de balancier.

De la Verge de Balancier.

2509. Pour faire une verge de balancier, on prend du petit acier quarré d'Angleterre ; on a ſoin de choiſir celui dont les pores ſont les plus ſerrés, qui eſt pur & ſans paille ; on coupe le bout de cet acier un peu plus que la longueur que doit avoir la verge, on le lime ſelon la figure 17, *Pl. XXXVIII*, on fait les palettes ouvertes d'environ 100 degrés, c'eſt-à-dire un peu plus que l'équerre ; les palettes doivent avoir plus de demi-ligne de largeur (nous remarquerons, à propos de largeur, que les Ouvriers appellent *largeur des palettes* la diſtance de *a* (*fig.* 17) au centre *b* du corps, & longueur de la palette, l'intervalle de *b* en *c*) ; la diſtance de l'une à l'autre palette dépend de la hauteur qu'il y a du dedans du talon de la potence au dehors de la petite platine ; on peut d'ailleurs faire la palette d'en bas plus longue qu'il ne faut, & on la recule après, ſelon qu'il eſt beſoin ; pour pouvoir paſſer la verge dans la platine, on fera *l'entrée*, ou ouverture quarrée *d x* (*fig.* 8) ; on rend cette entrée aſſez grande, à cauſe que la roue de rencontre doit s'y loger en partie (*voy. fig.* 6) ; en faiſant cette ouverture, il ne faut pas emporter tout-à-fait le trou *d* du balancier, mais en réſerver la moitié pour indiquer le centre : le plan des palettes ne doit pas être tout-à-fait dirigé au centre de la verge, mais un peu en dedans ; on appelle cela *ne pas entailler les palettes juſqu'au centre* ; par cette précaution l'échappement aura moins de chûte. Le corps de la verge doit être limé parfaitement rond, & de même groſſeur dans toute ſa longueur ; il faut qu'il n'ait que $\frac{1}{3}$ de ligne de groſſeur pour cette montre.

2510. Lorſque la verge eſt faite ſelon la figure preſcrite,

on y ajuſte l'aſſiette *T* ſur laquelle doit être rivé le balancier, & qui doit porter la virole de ſpiral. On fait à cette aſſiette une petite entaille propre à entrer ſur le bout de la palette d'en haut ; les Ouvriers pratiquent cette fente pour faciliter le poli de la palette : l'aſſiette peut avoir $\frac{8}{12}$ lig. de diametre, & autant d'épaiſſeur ; ainſi ajuſtée, ébauchée & tournée, on la ſoudera avec de la ſoudure d'argent (886 *& ſuiv.*) ; il faut avoir attention de diriger la flamme du chalumeau contre l'aſſiette, afin de ne pas faire trop chauffer la verge, & de ne pas corrompre l'acier, ce qui rendroit la verge ſujette à caſſer par la moindre ſecouſſe. Lorſque l'aſſiette eſt bien ſoudée, on fait chauffer également toute la verge en promenant la flamme ſur toute la longueur du corps, & quand la verge eſt de couleur de ceriſe, on la jette dans l'eau ; étant ainſi trempée, on la blanchit très-légerement avec de la pierre-ponce ; pour faire revenir la verge, on aura une plaque de cuivre ou d'acier fort mince & creuſée ; on poſe ſur cette plaque la piece qu'on veut faire revenir, & on expoſe la plaque à la flamme de la chandelle ; cela fait revenir plus également : on appelle cet outil un *Revenoir* : on fera ainſi revenir la verge d'un jaune tirant ſur le bleu.

2511. Pour dreſſer la verge après qu'elle eſt trempée, cela ne peut pas ſe faire par les pointes, ainſi que cela ſe pratique pour les pignons, parce que cela changeroit la groſſeur du corps de la verge, & que les palettes ne ſeroient plus au centre, comme auparavant : on ſe ſervira donc d'un petit marteau tranchant avec lequel on frappera ſur le corps du côté concave, & lorſque la verge eſt parfaitement ronde, il faut la faire chauffer de nouveau avec le revenoir, en ſorte qu'elle devienne d'un jaune tirant ſur le bleu, comme auparavant. Par cette précaution on évite que la verge ne ſe courbe, lorſqu'en la poliſſant on a emporté les coups de marteau.

2512. La verge étant parfaitement dreſſée, on tournera l'aſſiette, & on formera la portée & le canon pour recevoir le balancier ; on reculera cette portée, en ſorte que l'aſſiette n'ait que $\frac{4}{12}$ ligne d'épaiſſeur, quantité ſuffiſante pour l'épaiſſeur de

de la virole de ſpiral ; on adoucira avec une lime non trempée, les palettes & le corps, & avec beaucoup de précaution : on fera entrer le trou du balancier bien à force ſur l'aſſiette de la verge, & de ſorte qu'il tourne droit.

2513. Cela ainſi fait, on mettra la potence en place ; ainſi que la couliſſe ; on tournera de côté la plaque de la potence, on mettra le balancier en place, enſorte que ſon tigeron inférieur paſſe dans le trou du talon de potence, on mettra le coq, & le tigeron d'en haut paſſera dans le trou du coqueret, le balancier diviſant l'intervalle entre le coq & la couliſſe ; on marquera à raz du talon de potence, un trait qui déſignera l'endroit où il faut couper le tigeron ; on coupera au burin ce tigeron, mais en laiſſant par précaution un peu plus de longueur, afin d'avoir de quoi en ôter : on fera le pivot d'en bas ſelon les dimenſions indiquées, on préſentera de nouveau le balancier, mais en faiſant poſer le pivot ſur la plaque d'acier : ſi le balancier eſt trop haut, il faudra reculer convenablement la portée, & racourcir le pivot : ce pivot ainſi fait, on marquera à fleur du coqueret de cuivre (le balancier & le coq étant en place) l'endroit où on doit couper le tigeron d'en haut, ce qu'étant fait, on formera le pivot ſelon les dimenſions preſcrites : il eſt entendu que pour avoir plus de facilité de tourner les pivots, on a ôté le balancier. On mettra de nouveau le balancier, & on le préſentera ſur l'outil décrit (480), afin de voir s'il eſt d'équilibre ; s'il ne l'eſt pas, on l'y mettra ; on le fera dorer, & enſuite on le rivera ſur ſon aſſiette ; (à propos de cette aſſiette, avant de river le balancier, il faut la tourner plus petite du côté du balancier que de la palette, afin que la virole de ſpiral étant entrée ſur cette aſſiette, elle ne tende pas à en ſortir) ; on dreſſera le balancier, enſorte qu'il tourne parfaitement droit, & l'on polira la verge de balancier, corps, palette, &c.

2514. Les pivots de balancier ainſi faits, on rebouchera les trous du talon de potence & du coqueret : pour cet effet, on agrandira les trous, de ſorte qu'ils aient $\frac{3}{12}$ de ligne, on les taraudera ; on taraudera ſur le même trou de la filiere du laiton

de chaudiere bien écroui ; on ébiſelera les trous à reboucher ; on rivera avec ſoin les bouchons.

2515. Les trous ainſi rebouchés, on ſe ſervira de l'outil à mettre les roues droites en cage, pour marquer l'endroit exact où on doit percer les trous des pivots. Pour cet effet, on mettra le balancier en place ; on fera poſer le trou du coq ſur la pointe inférieure de l'outil, & avec l'autre on fera une marque au talon de potence ; par ce point, on percera avec un foret plus petit que le pivot, un trou qui ſera celui du pivot ; on agrandira ce trou bien droit, & de ſorte que le pivot y entre juſte ; cela étant fait, on mettra le coqueret en place, ainſi que le coq qui le porte ; on mettra une virole ſous la platine, & on fera poſer le trou du pivot du talon de potence ſur la pointe inférieure de l'outil à mettre les roues droites, & avec l'autre on marquera un point au coqueret, par lequel on percera avec le même foret dont on s'eſt ſervi, un trou pour le pivot ; on agrandira ce trou pour que le pivot y entre : on fera avec un foret rond par devant des creuſures en dedans du coqueret & du talon de potence, afin que les portées des pivots ne puiſſent pas y toucher, & que les pointes des pivots aillent, ainſi que cela doit être, poſer contre les plaquesd'acier.

2516. On mettra le balancier en ſa place, & on verra s'il a le jeu convenable en hauteur ; s'il eſt trop haut, on accourcira l'un ou l'autre pivot ; & s'il a trop de jeu en hauteur, il faudroit limer tant ſoit peu du coqueret de cuivre & de la potence.

2517. Cela fait, on arrondira le dehors du coqueret de cuivre & du nez de potence, en les mettant en goutte de ſuie pour y attirer l'huile ; mais il faut avoir grand ſoin que le ſommet de cette goutte de ſuie approche très-près de la plaque ; car ſans cela l'huile s'échappera du talon de potence pour monter à la verge.

2518. Le balancier ainſi poſé & parfaitement droit, il faudra reboucher le trou du coq, afin que ce trou ne ſoit que de la groſſeur convenable pour le jeu du tigeron, lequel ne doit pas pouvoir y toucher, mais tourner librement, & concentriquement à ce trou : cette précaution eſt néceſſaire, ainſi

que je l'ai dit (2393), pour éviter qu'une chûte de la montre qui feroit caſſer le pivot, ne pût pas eſtropier la roue de rencontre, s'il y a un grand jeu entre le coq & le balancier; on laiſſera une têtine au bouchon, afin que dans l'accident ſuppoſé, cette têtine retînt le balancier, & l'empêchât de ſortir de ſa place: on ébiſelera par le deſſus du coq le trou rebouché, afin que ce ſoit le bas qui reçoive l'effort de la chûte; car plus le contre-coup ſera arrêté près du milieu de l'axe de balancier, & moins les pivots pourront caſſer.

2519. Le balancier ainſi enarbré & mis en cage, on pourra planter le pignon de roue de rencontre: pour cet effet, il faut obſerver que cela dépend de la grandeur de la roue, & cette grandeur elle-même dépend de la diſtance qu'il y a depuis l'aſſiette de balancier au dedans du talon de potence. Or pour faciliter l'exécution de l'échappement, il faut tenir la roue la plus grande qu'il ſe pourra, & il faut cependant qu'elle ſoit diſtante du talon de potence, afin que de la palette d'en bas, il y ait un bon tigeron pour éloigner l'action de la palette du pivot, & que l'huile ne puiſſe pas monter à la palette: il faut donc élever la roue de rencontre juſqu'à ce qu'elle approche fort-près de l'aſſiette; par ce moyen l'action de la roue ſe fait plus dans le milieu de l'axe de balancier; ici la roue de rencontre peut être de 2 ligne $\frac{1}{12}$ lig. de diametre, & le champ une ligne de largeur.

2520. Pour faire la roue de rencontre, on prendra du cuivre de chaudiere bien pur, on le forgera très-dur; enſuite on percera la roue d'un trou qui ait $\frac{4}{12}$ de ligne; on la chaſſera ſur un arbre liſſe tourné bien rond; on tournera la roue ſelon les dimenſions preſcrites, & laiſſant une force convenable au fond, afin que, les croiſées étant faites, elle ſoit ſolide, & ne puiſſe ſe courber. Le champ de la roue ſur lequel doivent être faites les dents, doit être épais du côté du fond de la roue, & aller en aminciſſant au bord pour les pointes des dents; mais il ne faut pas que ce champ de la roue ſe termine en pointe; il faut au contraire que ſon épaiſſeur ſoit de $\frac{1}{24}$, afin que ces dents ne creuſent pas les palettes: la roue ainſi tournée, on fera les croiſées.

2521. On mettra le balancier en place ; & préſentant la roue contre le nez de potence, & de ſorte qu'elle approche contre l'aſſiette du balancier, on fera par le trou de la roue un point ſur le nez de potence qui indiquera l'élévation du trou du pivot de rencontre ; on percera par ce point un trou avec le même foret qui a ſervi à percer les trous de pivot de balancier.

2522. Si le derriere du nez de potence approche trop du corps de la verge, on le reculera, & de ſorte qu'il reſte un intervalle pour la plaque d'acier qui doit recouvrir le trou de rencontre : il ne faut pas non plus trop reculer ce nez de potence, car alors le pivot étant éloigné du devant des dents de rencontre, ſouffrira une plus grande preſſion : le derriere du nez de potence étant reculé, comme il convient, on limera le devant, enſorte qu'il reſte ſeulement un peu plus que l'épaiſſeur requiſe pour la longueur du pivot.

2523. On limera de même épaiſſeur le bout de la contre-potence ; on ajuſtera la plaque d'acier qui doit recevoir le bout du pivot ; cela diſpoſé, on levera les pivots de pignon de rencontre ; on commencera par celui du côté de la roue ; & avant cela, on formera d'abord les portées pour y river la roue : on y fera entrer la roue à force ; on levera le pivot au bout du tigeron, & le tenant plus gros qu'il n'eſt beſoin, on agrandira le trou du nez de potence pour que ce pivot y entre ; on reculera, petit à petit, la portée du pivot, juſqu'à ce que la roue approche tout contre le corps de la verge ; alors on ôtera la roue, & on achevera le pivot : on fera l'autre pivot en ſe réglant ſur la diſtance du nez de potence à la contre-potence, celle-ci ayant ſon plan parallele à la potence.

2524. Les pivots ainſi faits, on rebouchera avec un bouchon percé ſur le tour & taraudé, le trou fait au nez de potence ; on l'agrandira pour y faire entrer juſte le pivot, & pour achever de poſer le pignon de rencontre, il faudra percer le trou à la contre-potence, & parfaitement à même diſtance de la platine que l'eſt celui du nez, afin que l'axe du pignon ſoit parallele au plan de la platine : pour cet effet on ſe

ſervira de l'outil repréſenté (*Pl. XXXVIII, fig.* 24); on fait poſer la baſe *b* de l'outil ſur la platine, & on éleve la pointe *a* à la hauteur du trou fait au nez de potence; en cet état on trace, avec cette pointe, un trait ſur la contre-potence qui déſigne l'élévation du trou du pivot; & pour la direction de l'axe, on ſe réglera ſur le centre de la roue de champ & du balancier; on percera ce trou, & on l'agrandira pour y faire entrer le pivot.

2525. On préſentera la roue de rencontre afin de voir ſi elle approche aſſez du corps de la verge. Pour juger de cela, il faut que les palettes ſoient tournées du côté de la potence, afin de ne pouvoir toucher à la roue, on ne fait, pour cela, que tourner le balancier; ſi elle en étoit trop diſtante, il faudroit reculer un peu la portée du pivot; on rivera la roue ſur ſon pignon, & on tournera la roue avec ſoin deſſus, devant, & dedans : & ſi la roue touchoit à la verge, il faudroit en tourner du devant; on verra auſſi ſi le devant de la roue approche également du haut & du bas du corps de la verge, c'eſt-à-dire, ſi le plan de la roue eſt parallele à l'axe de balancier; ſi cela n'étoit pas, il faudroit reboucher le trou de la contre-potence, ſi elle approche trop du bas; & au-contraire limer le deſſous de la contre-potence, ſi elle approche trop du haut; on évitera de reboucher le trou en ne le perçant pas tout-à-fait au trait fait avec l'outil (2524), mais un peu plus haut; alors on lime du deſſous de la contre-potence juſqu'à ce que la roue de rencontre ſoit parfaitement droite avec la verge : cela ainſi fait, on pourra faire l'engrenage de champ, & finir le reſte du dedans de la cage.

2526. La roue de rencontre ainſi poſée, on mettra la roue de champ en cage, & on verra ſi l'engrenage eſt trop fort ou trop foible, afin de pouvoir reculer l'une ou l'autre portée en faiſant les pivots: on arrondira quelques dents de cette roue, afin de pouvoir examiner l'engrenage: s'il eſt trop fort, ainſi que cela doit être, on ôtera du deſſous de la traverſe du pont *f f* (*Pl. XXXVII, fig.* 7); cette traverſe étant faite plus épaiſſe qu'il ne faut; on obſervera auſſi ſi la roue eſt droite en cage,

afin d'étirer l'un ou l'autre trou avant de le reboucher : on fera donc d'abord le pivot du côté du pont, & ſelon les dimenſions preſcrites (2444) ; on fera de même l'autre ; on rebouchera les trous, les agrandiſſant convenablement, & les taraudant, enſuite perçant ſur le tour les trous des pivots aux rebouchons ; on mettra cette roue libre, & on fera les noyures pour l'huile ; on tournera la roue bien droite & ronde, on fera la denture, & on terminera avec ſoin l'engrenage, enſorte qu'il n'y ait ni accotement ni chûte, & plutôt le dernier que le premier.

2527. Enfin on fera la denture de la petite roue moyenne, & on achevera l'engrenage avec les ſoins preſcrits ; on pratiquera une fenêtre à la grande platine pour voir l'engrenage: nous obſerverons ici par rapport aux engrenages que la perfection de cette partie d'une montre eſt très-eſſentielle; car delà dépend l'uniformité de la force tranſmiſe à la roue de rencontre ; mais ce n'eſt pas de cela ſeul que la juſteſſe de la montre ſera troublée, parce que ces inégalités ſe répetent tous les jours de la même maniere ; ces inégalités dans les engrenages tendent à détruire les trous des pivots, & à changer la nature des frottements ; & c'eſt par-là principalement que les mauvais engrenages ſont nuiſibles aux montres ; cela fait, on pourra achever l'échappement.

2528. La roue de rencontre tournée & poſée, comme on l'a vu ci-deſſus, il reſtera à la fendre. Pour cet effet, on la fixera ſur le taſſeau de la maniere qu'on l'a expliqué (2322) ; on choiſira une fraiſe de l'épaiſſeur & figure convenable, ce que l'uſage enſeigne ; on inclinera l'*H* de 25 degrés ; on mettra l'alidade ſur la premiere diviſion du nombre 13 ; on fendra la premiere dent à moitié ; enſuite on tournera la plate-forme en arriere, afin que le plan de la dent ſe faſſe dans le plein du cercle de la roue, & qu'il ne puiſſe fléchir, ce qui ne manque pas d'arriver, lorſqu'après avoir formé une dent, on fait commencer la ſuivante par le côté du devant de la dent finie ; car alors le plan incliné de la fraiſe la rejette ſur la dent déja enfoncée, & recourbe la pointe, au lieu que par

l'autre méthode la courbure de la fraiſe termine la dent ſans pouvoir la courber. J'entre dans ces détails, parce que pour faire une roue parfaitement juſte, il ne ſuffit pas d'avoir un bon inſtrument, il faut de plus ſavoir en faire uſage, & la perfection de la roue de rencontre eſt de très-grande conſéquence pour la juſteſſe de la montre. Il ne faut pas d'abord rendre les extrémités des dents aiguës, il faut au contraire les tenir quarrées, & quand on a fait le tour, on les rend aiguës en deviſſant tant ſoit peu la vis de l'*H*, afin de faire deſcendre la fraiſe; on terminera ainſi les pointes des dents en appuyant très-légerement ſur l'*H*, afin de ne pas courber les dents : une roue ainſi fendue ne peut manquer d'être parfaitement juſte ; ainſi pour la terminer, il ne faudra qu'ôter les *bavures* de la fraiſe, friſer les pointes des dents (1320) avec beaucoup de précaution, & étirer le devant & le derriere des dents avec des limes fort douces (1322).

2529. Mais ſi la roue eſt mal fendue & inégale, pour l'égaliſer, on ſe ſervira de l'outil repréſenté (*Pl. XXXVIII, fig.* 23) dont on a vu la deſcription (2355).

2530. La roue de rencontre ainſi finie, on fera l'échappement : pour cet effet, on ajuſtera la plaque d'acier *F* (*Pl. XXXVIII, fig.* 10) deſſus le lardon de potence, & de ſorte que la partie *q* de cette plaque poſe contre le derriere *m* du nez de potence *D* (*fig.* 9), afin de recevoir le bout du pivot de rencontre qui doit affleurer avec le derriere du nez de potence, & il faut qu'en cet état la roue n'approche pas tout-à-fait contre le corps de la verge ; on trempera & adoucira cette plaque afin de n'avoir plus à y toucher ; alors on pourra étrecir les palettes petit à petit, juſqu'à ce qu'en même temps que les dents n'accrochent plus avec les palettes, le bout du pivot de rencontre porte contre la plaque d'acier : il faut diminuer les palettes avec beaucoup de précaution, afin de n'en pas trop ôter, ce qui donneroit des chûtes à l'échappement, auxquelles on ne pourroit pas remédier, puiſque la la roue eſt ſuppoſée approcher tout contre le corps de la ver-

ge *. Il faudroit donc dans ce cas diminuer le corps de la verge, & c'eſt une opération très-longue & difficile : il eſt néceſſaire que les palettes ſoient parfaitement de même largeur, afin que les levées par chaque palette ſoient égales ; on ſe ſervira, pour les rendre égales, d'un calibre à pignon, dont on fera uſage pendant tout le temps qu'on étrecira les palettes pour trouver leur largeur.

2531. Lorſque l'échappement eſt prêt de ſe faire, ce que l'on voit quand la roue approche du corps de la quantité dont on l'avoit vue approcher avant de préſenter les palettes ſans y toucher, & ſans accrocher; il faut alors ôter les angles des palettes, afin qu'ils ne déchirent pas les dents, & ne puiſſent faire accrochement. A meſure que l'on fait l'échappement, les palettes étant d'égale largeur, on fait mouvoir la vis de rappel de la potence, afin de trouver le vrai point, pour que les chûtes ſoient parfaitement égales.

2532. On reculera la palette d'en bas juſqu'à la roue ; afin de l'éloigner du pivot, & par conſéquent de l'huile qu'elle pourroit attirer ; il ſuffit que l'engrenement des dents de la roue ſe faſſe en plein ſur la palette ; ſi la roue approchoit trop près de l'aſſiette de balancier, il faudroit un peu reculer cette aſſiette avec une lime.

2533. On achevera l'ajuſtement des trous de pivots de la roue de rencontre ; on arrondira pour cet effet en goutte de ſuie le derriere du nez de potence, & de même de la contre-potence ; on percera à l'extrémité *n* (*Pl. XXXVII, fig. 6*,

* Dans une montre à roue de rencontre dont la force motrice eſt donnée, ainſi que la grandeur de la roue, & le nombre de ſes dents, il eſt eſſentiel que la roue approche le plus près du centre de la verge qu'il eſt poſſible ; car, 1°, le frottement de l'échappement eſt moindre, puiſque la preſſion de la roue eſt la même, & la traînée plus petite : 2°, les arcs de levée ſont plus grands, & par conſéquent ceux de ſupplément plus petits, d'où ſuit un moindre dérangement par les variations de force motrice. Il faut encore obſerver que pour parvenir à faire un échappement à roue de rencontre, qui ait moins de recul, il faut avoir une roue plus grande & moins nombrée ; le corps de la verge reſtant le même, les arcs de levée ſeront plus grands, & le recul ſera dans un moindre rapport avec ces arcs, condition qui conduit à l'iſochroniſme des vibrations.

un

un trou pour y chaſſer un tenon; on alongera le trou de la vis fait à la contre-potence, afin qu'on puiſſe mettre & ôter la roue de rencontre ſans ôter cette vis.

2534. L'échappement étant entiérement fini, on placera la cheville de renverſement: pour cet effet, on commencera par faire une marque ſur le devant du coq avec une lime angulaire: il faut que cette marque ſoit juſte dans le milieu entre les deux pieds du coq; cette marque indiquera l'endroit où la cheville de renverſement devra s'arrêter pour que les palettes ſoient également en priſe avec les dents de la roue; cela marque auſſi le point de repos de ſpiral, c'eſt-à-dire, l'endroit où la cheville s'arrêtera lorſque le ſpiral étant en place: le balancier ſera libre & arrêté. Maintenant pour marquer ſur le balancier ce repaire, ou ce qui revient au même, la place de cette cheville, il faut mettre la roue de rencontre en place: on introduira entre le balancier & le coq, un petit morceau de papier pour empêcher le balancier de tourner librement: cela fait, on fera tourner le balancier très-doucement, juſqu'à ce qu'une dent de la roue de rencontre que l'on preſſera avec le doigt, échappe: dans l'inſtant on fera un petit trait ſur le bord du balancier, préciſément au-deſſous de la marque faite au coq; on fera revenir le balancier ſur lui-même, juſqu'à ce qu'une dent de la roue échappe de l'autre palette; on fera un petit trait ſur le bord du balancier à l'endroit du repaire du coq: ces deux traits faits au balancier marqueront l'arc total de levée; ainſi en diviſant cet intervalle en deux parties égales, & faiſant à cet endroit un trait un peu plus fort, il donnera le repaire où le balancier doit s'arrêter pour que les palettes ſoient également en priſe avec la roue, & le ſpiral à ſon repos: on percera ſur la ligne qui va de ce repaire du balancier au centre, un trou dans l'épaiſſeur du balancier & près du bord extérieur pour la cheville de renverſement; on fera cette cheville avec une aiguille revenue bleu; on la rivera ſur le balancier, & de ſorte qu'elle ſoit perpendiculaire au plan du balancier.

2535. Maintenant pour trouver le point où l'on doit reculer la couliſſe pour éviter le renverſement, & que le ba-

lancier puiſſe décrire les plus grands arcs, on ſe ſervira de la méthode ſuivante. On mettra le coq en place, & l'on marquera ſur la platine immédiatement au-deſſous du trait de repaire fait au coq un point qui ſervira auſſi de repaire ; on mettra la roue d'échappement & le balancier en place, & l'on introduira un morceau de papier entre le coq & le balancier ; on fera tourner le balancier juſqu'à ce qu'une dent de la roue de rencontre ſoit parvenue à l'extrémité de la palette ſans pouvoir être renverſée ; alors on fera vis-à-vis le repaire du coq un petit trait au balancier ; ce trait déſignera le chemin que le balancier peut faire de ce côté ſans renverſement ; c'eſt-à-dire ſans que la palette abandonne la dent de la roue : on fera rétrograder le balancier juſqu'à ce qu'une dent de la roue étant reculée par la palette ſoit parvenue à l'extrémité de cette palette, ſans pouvoir cependant l'abandonner ; on fera un petit trait ſur le bord du balancier, directement au-deſſous du repaire du coq ; on prendra avec un compas la diſtance qu'il y a depuis le trait de repaire ou de la cheville, juſqu'à un des petits traits derniérement marqués au bord du balancier ; on mettra la couliſſe en place, & poſant une pointe du compas ſur le point ou repaire *N* de la platine (*Planche XXXVII*, *fig.* 8), de l'autre pointe on tracera en *p* & *q* ſur la couliſſe, des petits traits qui marqueront l'endroit où l'on doit pouſſer l'entaille pour le renverſement de la cheville ; mais pour prévenir l'erreur qui pourroit s'être gliſſée en opérant, on ne reculera pas tout-à-fait juſqu'en *p* & *q*, afin qu'après avoir mis le balancier de la roue, on puiſſe examiner le renverſement lorſque la cheville touche au fond des entailles de la couliſſe.

2536. Les bords *p h*, *q g* de la couliſſe ſont limés ſelon un trait de compas tiré du centre *d* ; la grandeur de ce cercle dépend de la diſtance de la cheville de renverſement au centre du balancier ; plus on place cette cheville ſur le bord du champ, & moins cette entaille a beſoin d'être rapprochée du centre ; il ſuffit que la cheville ne puiſſe jamais y toucher.

2537. Il faut placer le piton de ſpiral en dehors de la couliſſe, comme on le voit en *G* (*fig.* 8), aſſez diſtant de la

couliſſe pour que le bras du rateau, lorſque l'aiguille eſt à o, ne puiſſe toucher à la cheville du piton ; il doit être rapproché du centre du balancier, afin que le ſpiral, par ſon extenſion, n'aille pas frapper contre le dedans de la couliſſe : on percera le trou pour le piton, & on l'agrandira bien droit, & paſſant l'équarriſſoir des deux côtés, on paſſera auſſi un alezoir pour unir & durcir le trou : ce trou ainſi fait doit avoir environ $\frac{1}{2}$ lig. de groſſeur. Pour faire le piton, on prendra du laiton écroui quarré, de 1 ligne d'épaiſſeur ; on levera ſur le tour un pivot que l'on diminuera petit à petit, juſqu'à ce qu'il entre bien à force dans le trou fait à la platine : on fait ce pivot preſque cylindrique, ou pour le mieux, un peu plus dégagé du côté de la portée ; on coupe le pivot ſur le tour en l'arrondiſſant du devant pour faciliter l'entrée : on perce enſuite le trou pour la goupille ; ce trou doit être d'environ $\frac{2}{12}$ de lig. de groſſeur ; il doit être parfaitement percé droit & agrandi des deux côtés ; l'élévation de ce trou, au-deſſus de la platine, doit être dans le milieu de la diſtance qu'il y a entre la platine & le deſſous du balancier ; on coupera le piton ſur le tour, enſorte qu'il ne reſte que peu de matiere au-deſſus du trou, crainte que le piton ne puiſſe toucher aux barrettes de balancier.

2538. Pour faire la virole de ſpiral, on prendra du cuivre bien écroui, de l'épaiſſeur de l'aſſiette de balancier ; on percera un trou qui, agrandi, ſoit plus petit quel'aſſiette du balancier ; on tournera la virole ſur un arbre liſſe ; la grandeur de cette virole ne doit être ſuffiſante que pour y percer le trou, pour la cheville qui arrête le bout intérieur du ſpiral ; on perce d'abord ce trou en dirigeant le foret, de ſorte qu'il affleure l'arbre liſſe ſans le toucher ; on l'agrandira des deux côtés, & on tournera la virole du deſſus, enſorte qu'il reſte aſſez de force en dehors du trou, pour ſoutenir la goupille ; on a dû laiſſer la virole plus épaiſſe, afin que le trou de la goupille puiſſe être déjetté (en tournant les bords de la virole) d'un ou d'autre côté, pour que ce trou ſoit à la même élévation que celui du piton, & que par conſéquent ce ſpiral ſoit dans un plan parallele à la platine & au balancier ; on creuſera le côté de la virole qui

doit s'appuyer contre le balancier, afin qu'elle s'y applique, & joigne exactement, c'eſt le côté le moins agrandi du trou de la virole qui doit être placé contre le balancier, afin d'y être retenu, & qu'en tournant la virole avec un tourne-vis, elle ne tende pas à ſortir de ſa place. Avant d'ôter la virole de deſſus l'arbre, on la fendra en travers avec une lime à égaler ; il faut faire cette fente en dehors du trou de la cheville pour le ſpiral, du côté oppoſé à l'entrée de la goupille, c'eſt-à-dire, à celui par où entre le bout intérieur du ſpiral : cette fente de la virole doit aller juſqu'à l'arbre, & couper tout-à-fait la virole, afin qu'elle faſſe reſſort pour s'ouvrir en entrant ſur l'aſſiette, & ſe refermer, lorſqu'elle eſt deſſus, en produiſant cependant un bon frottement : la virole ainſi faite, on la placera ſur ſon aſſiette.

2539. Il reſtera, pour achever ce qui concerne le finiſſage du deſſus, à placer les chevilles ſur le bras du rateau pour le paſſage du ſpiral. Pour marquer la place de ces chevilles, on prendra un compas dont une pointe poſera au centre *d* du balancier, & on fera paſſer l'autre par le bord intérieur du trou du piton ; on fera, avec cette ouverture de compas, un trait ſur le bras du rateau ; on percera aux deux côtés de ce trait, deux petits trous pour les chevilles ; ces trous ne doivent être diſtants entr'eux, que de la quantité requiſe, pour que le ſpiral y paſſe librement ; on mettra la roue de roſette en place & à ſon repaire avec le rateau : on placera la roſette que je ſuppoſe gravée & diviſée, comme on le voit (*fig.* 8) ; on mettra l'aiguille de roſette auſſi à ſon repaire ; on amenera cette aiguille ſur le o (de la roſette) : dans ce moment, on prendra le foret qui a ſervi à faire les trous des goupilles ; on marquera par ces trous deux points ſur la platine ; on avancera l'aiguille à la diviſion 4 ; on marquera de nouveau deux points par ces trous, & ainſi de ſuite, juſqu'à ce que l'aiguille ait parcouru toute la roſette ; ces points déſigneront le chemin des chevilles, & par-conſéquent la courbure que devra avoir le ſpiral, lorſqu'il eſt en repos, pour n'être pas plus contraint dans ſon mouvement par l'une ou l'autre cheville.

2540. Avant de démonter la couliſſe, il faudra percer à la platine les trous pour deux chevilles qui doivent arrêter le rateau, de ſorte que l'aiguille de roſette ne puiſſe approcher trop près du balancier, ce qui pourroit ou arrêter la Montre, ou faire caſſer le pivot du balancier. Pour cet effet, lorſque l'aiguille eſt ſur la diviſion 0 ou 32 des extrémités de la roſette, on percera avec un foret, au bout du rateau, des trous *x*, *y*, dans chacun deſquels étant chaſſée une cheville, ces chevilles borneront la courſe du rateau & de l'aiguille; ſi les bouts *g*, *h* de la couliſſe recouvrent le rateau, ainſi parvenu au bout de ſa courſe, on les raccourcira de la quantité néceſſaire, pour que le rateau affleure, & que par-conſéquent on puiſſe marquer & percer les trous : on ne met ces chevilles que lorſque la platine a été adoucie à la pierre, & qu'elle eſt prête à dorer; elles ne doivent pas être plus élevées que la couliſſe.

2541. Si on s'apperçoit qu'en tournant l'aiguille de roſette, le rateau fait lever les bouts de la couliſſe, on rivera ſur la platine aux bouts de la couliſſe deux griffes de cuivre *g*, *h* portant de petits biſeaux qui recouvriront les bouts de la couliſſe auſſi limés en biſeau, afin que ces griffes ne ſoient pas ſaillantes au-deſſus de la couliſſe; on aura ſoin d'ajuſter la couliſſe, enſorte que le rateau tourne deſſous avec un frottement ni trop fort ni trop foible, mais moëlleux, & à l'abri des ſecouſſes qui pourroient le faire mouvoir, s'il étoit ſans frottement.

2542. On démontera la couliſſe; on limera le bras du rateau, & on l'amincira de ſorte que le ſpiral étant en place, il ne puiſſe y toucher; on arrondira le deſſus de ce bras, on le polira par deſſus & des côtés, & l'on rivera les deux chevilles qu'il faut faire entrer par-deſſus, & river par-deſſous; on raccourcira les chevilles, de ſorte qu'elles ne puiſſent pas toucher aux barrettes du balancier.

2543. La montre étant amenée à ce point, on pourroit faire tirer le balancier, afin de voir ſi le reſſort a la force convenable; mais il vaut mieux attendre, pour cela, que l'on ait doré la montre, coupé les vis de longueur, poli le tout, & mis les roues libres, parce que la liberté que l'on donne aux

pieces après la dorure, change la force que la roue de rencontre auroit eue à ſa circonférence, ſi on l'eût fait marcher en blanc, ainſi que cela ſe pratique communément; & delà il arrive qu'une montre dont le balancier tiroit 25 minutes avant de la dorer, en tire 28 & 30 après qu'elle eſt dorée, quoique le balancier n'ait pas changé de poids, le reſſort de force, & qu'il paroiſſe que la montre eſt dans le même état; mais le plus ou moins de jeu dans les trous, &c, change ſenſiblement le rapport de la force motrice au régulateur; & c'eſt de ce rapport que dépend, ainſi que nous l'avons fait voir, la plus grande juſteſſe de la montre. Pour donc établir ce rapport, il faut que toutes les parties de la machine aient acquis un état conſtant & toute la liberté dont elles ſont ſuſceptibles; on fera donc dorer la montre.

2544. Avant de faire dorer la montre, il faut adoucir toutes les pieces de cuivre avec la pierre à l'eau; mais avant cela, il faut *rogner* toutes les vis, enſorte que leurs bouts affleurent ſeulement les platines ou autres pieces où elles ſont attachées; on arrondit & polit les bouts de ces vis.

2545. Il faut auſſi couper le quarré de fuſée, après avoir premierement adouci ſur le tour la rainure de la chaîne.

2546. Avant de dorer la montre, il faut que l'on ait fait la boîte & la charniere, ajuſtement dont je ne parle pas, il n'a rien de commun à la bonté de la montre.

2547. On ne fera pas mal, avant de dorer la montre, & lorſque toutes les pieces ſont adoucies, de la remonter entiérement, & de goupiller les platines, comme ſi on vouloit la faire marcher, on verra ſi toutes les roues ont la hauteur convenable en cage; elles doivent avoir un peu de jeu, & les creuſures pour l'huile doivent affleurer les bouts des pivots (995); s'il y a des roues qui n'aient pas aſſez de jeu en hauteur, il faudra reculer les portées, ainſi des autres parties.

2548. Les platines ainſi adoucies, on chaſſera, & on rivera les chevilles qui doivent régler la courſe du rateau, on prendra pour cela du cuivre de chaudiere, parce que le fil de fer prend mal la dorure.

2549. Toutes les pieces de cuivre de la montre doivent être dorées, à l'exception ſeulement de la roue de rencontre, de la fuſée & du rateau de ſpiral que l'on polit.

2550. En dorant la montre, il s'introduit de l'or dans tous les trous, enſorte qu'il les faut nettoyer tous avec grand ſoin; les trous de pivots, avec des équarriſſoirs bien adoucis, & les trous taraudés avec les tarauds qui ont ſervi à les tarauder, ou au défaut de taraud, on ſe ſervira des vis mêmes.

2551. Lorſque la montre ſera dorée, on commencera par mettre libre la cage, paſſant, pour cet effet, un équarriſſoir dans les trous de piliers de la petite platine; on ôtera les angles ou bavures faites par l'équarriſſoir avec un petit cylindre d'acier, dont le bout eſt conique, & fait à trois faces; cet outil que j'appelle *Outil à bavures*, eſt repréſenté en *C g* (*Pl. XXXVIII, fig. 3*); il eſt néceſſaire pour ôter les angles de tous les trous, & ſur-tout des pivots; on paſſera un équarriſſoir dans les trous de goupilles des piliers; on ôtera les angles & bavures des trous, avec l'outil à bavures.

2552. Tous les équarriſſoirs dont on ſe ſert pour rendre libres les trous des pivots doivent être d'une bonne figure (peu en pointe), & adoucis avec ſoin, avec une pierre à huile, enſorte que ces équarriſſoirs rendent les trous unis & polis.

2553. On paſſera avec précaution un équarriſſoir dans le trou de fuſée de la grande platine; on ôtera les bavures; on paſſera auſſi un équarriſſoir dans les trous des pieds du pont de fuſée; & ainſi à chaque trou dans lequel on paſſera l'équarriſſoir, on ôtera avec l'outil à bavure les petits angles du trou: je ne répéterai donc plus cette opération. On paſſera le taraud dans le trou de la vis du pont de fuſée, on paſſera l'équarriſſoir dans le trou de fuſée de la petite platine; on paſſera un équarriſſoir dans le trou du pont de fuſée; on mettra le pont en place, & pour que ſa vis entre aiſément, on mettra de l'huile dans le trou de cette vis; on mettra la fuſée en cage, & on goupillera les platines, afin de voir ſi elle a le jeu convenable en hauteur; on en ôtera, ou on en donnera en conſéquence; on examinera ſi les trous ne ſont pas trop juſtes: il

faut qu'ils aient un peu de jeu, afin que l'huile y étant introduite, le pivot ne ſoit pas trop juſte dans ſon trou; il ne faut pas non plus que le trou ſoit trop grand; car alors les engrenages changent. Je voudrois pouvoir faire entendre le point convenable qu'il faut donner à chaque partie; c'eſt un milieu aſſez difficile à rendre; il y a pour cela un tact qui ne ſe donne pas.

2554. On mettra libre, avec les mêmes précautions, la roue de grande moyenne, le barillet, la petite roue moyenne & celle de champ. Pour mettre libre la petite roue moyenne & celle de champ, il faut d'abord commencer par mettre libre le pont porté par la grande platine, & ſur lequel doivent rouler les pivots de ces roues: pour cet effet, on paſſera un équarriſſoir dans les trous des pieds de ce pont, & on paſſera le taraud dans les trous des vis; on mettra ce pont en place avec les vis, ayant ſoin d'y mettre de l'huile. Pour mettre libre la roue de rencontre, il faudra d'abord paſſer l'équarriſſoir dans les trous des tenons de potence, afin de mettre la potence libre; on en fera autant à la contre-potence. Comme ces deux pieces ſont dorées, il faut avoir ſoin de gratter, avec un burin, l'or qui pourroit s'être attaché à la baſe de ces pieces; on paſſera un taraud dans le trou de la vis du lardon de potence, ainſi que dans celui de la plaque: même opération pour la vis de plaque de contre-potence: cela ainſi fait, on paſſera, avec ſoin, un équarriſſoir dans les trous de pivots de rencontre, & on les mettra libres, enſorte que ces pivots n'aient ni trop, ni trop peu de jeu dans leurs trous; on paſſera les tarauds dans tous les trous à vis de la petite platine; on mettra libre le pivot de la roue de roſette: s'il eſt entré de l'or dans la rainure de la couliſſe, on le grattera avec un burin; on paſſera un équarriſſoir dans le trou du piton, mais très-légerement, afin de n'ôter que l'or, & pour que ce piton tienne toujours à frottement; on remontera la couliſſerie, la roſette & ſa roue, ayant ſoin de mettre de l'huile à tous les trous de vis; on examinera ſi le rateau tourne à frottement ſous la couliſſe: s'il alloit trop libre, il faudroit un peu

peu limer du deſſous de la couliſſe, afin de la faire frotter ſur le rateau.

2555. On paſſera un équarriſſoir dans les trous des pieds du coq; on mettra libre le coqueret & ſa vis; on paſſera un équarriſſoir légerement, & enſuite un alezoir dans le trou du pivot de balancier; on en fera autant au trou de pivot du talon de potence; on mettra le balancier en place, ainſi que le coq; on examinera d'abord le jeu du balancier en hauteur: s'il a trop ou trop peu de jeu, ce ſera une marque que le coq s'eſt courbé; on le ramenera donc avec un marteau. Cela fait, on verra ſi les trous ſont de bonne grandeur; ils doivent être un peu juſtes; car en parlant de leur exécution, j'ai ſuppoſé qu'on ne les faiſoit que juſtes & ſans jeu; or il eſt néceſſaire que les pivots aient un peu de jeu pour que l'huile puiſſe s'y introduire, & que même lorſqu'elle eſt un peu épaiſſie, le pivot n'en ſoit pas empêché: on démontera le balancier, & on mettra libre le garde-chaîne; on fera la goupille, avec ſoin, après avoir paſſé un équarriſſoir dedans le trou.

2556. On mettra libre le barillet ſur ſon arbre; on nettoiera le barillet, & de même le reſſort: on fera entrer le reſſort dans le barillet (on vend des outils, faits pour cet uſage, chez tous les Marchands); on introduira de l'huile entre les lames du reſſort; on mettra la bride, l'arbre & le couvercle, & le barillet ſera prêt.

2557. Enfin pour achever de mettre libre la montre, on paſſera un taraud dans tous les trous à vis de la grande platine; on mettra en place le cliquet d'encliquetage de barillet; on paſſera un équarriſſoir dans le trou du pivot de la roue de renvoi; on paſſera de même un équarriſſoir dans les trous des pieds du coq de la roue de renvoi; on paſſera auſſi l'équarriſſoir dans le trou du pivot de ce coq; on mettra libre le reſſort de cadran; ainſi la montre ſera prête à être remontée, pour éprouver ſi le reſſort eſt de bonne force.

REMARQUES.

2558. Nous avons fait voir (1891 & 1893) que la relation du poids du balancier à la force motrice n'eſt pas la même dans toutes les montres, & qu'elle varie ſelon la nature des frottements, des forces de mouvements, &c ; d'où il ſuit que pour parvenir ſûrement à la compenſation des effets du chaud & du froid, on peut ſe diſpenſer d'éprouver combien le balancier tire, puiſque, d'après nos principes, deux montres peuvent paroître faites de la même maniere, le balancier tirer le même nombre de minutes, & cependant varier différemment du chaud au froid ; il eſt vrai que ce ſera de peu de choſe, ſi on a donné les mêmes dimenſions ; mais puiſque l'épreuve du nombre de minutes tiré par le balancier ne ſuffit pas, il vaut mieux recourir à l'expérience qui ſatisfait à toutes les conditions : c'eſt l'épreuve de la montre par différentes températures : ſi on eſt en été, l'épreuve devient plus difficile ; cependant j'en fais uſage dans toutes les ſaiſons.

2559. Pour remonter le mouvement, on nettoiera toutes les piecesavec ſoin ; on ſéparera, les unes des autres, toutes les parties de la montre, & on les mettra dans une taſſe ou un verre rempli d'eſprit-de-vin, on les y laiſſera pendant une demi-heure environ ; on ôtera ces pieces les unes après les autres ; on les broſſera avec des broſſes faites exprès, & que l'on plonge auſſi dans l'eſprit-de-vin ; on prend enſuite une broſſe ſeche qui acheve, en ôtant l'eſprit-de-vin, de nettoyer la piece ; quand les pieces ſont grandes, on ſe ſert de linge pour les eſſuyer ; toutes les pieces étant ainſi nettoyées, on paſſe du bois de fuſin dans tous les trous des platines : on mettra d'abord en place le pont des roues de petite moyenne & de champ qui s'attache à la grande platine ; on met en place le reſſort de cadran, & le cliquet d'encliquetage de barillet ; on poſe cette platine ſur l'outil appellé *Main* ; on remonte la fuſée avec ſa roue, ayant ſoin de mettre de l'huile au trou de cette roue, au cliquet & à la baſe de la fuſée, & ſous la goutte

qui aſſemble la roue contre la fuſée : le barillet étant nettoyé, on mettra de l'huile aux noyures des trous de pivot, du couvercle & du fond ; on mettra la fuſée & le barillet en place ; on aſſemblera les pieces de la potence ; on nettoiera les trous de ſes pivots ; on attachera la potence à la petite platine ; on mettra le garde-chaîne & ſon reſſort en leur place ; on attachera le pont de fuſée ; on paſſera un bois de fuſin dans le trou ; on remontera la roue de rencontre, après avoir raſſemblé & nettoyé la contre-potence, on ſerrera la vis de la contre-potence, & de ſorte que la roue de rencontre étant libre, n'ait point de jeu ſelon ſon axe;on mettra de l'huile à ſes pivots; toutes les pieces du dedans de la petite platine étant poſées, on appliquera cette platine ſur celle des piliers ; on fera entrer les pivots dans leurs trous, & le rouage ſera remonté ; on fera des goupilles pour arrêter la cage ; on mettra le rochet d'encliquetage de barillet ſur ſon quarré ; on accrochera la chaîne au barillet, & on fera tourner l'arbre par ſon quarré, juſqu'à ce que la chaîne entoure le barillet, à l'exception d'un bout que l'on fera accrocher à la fuſée ; on continuera à tourner l'arbre de barillet, juſqu'à ce que le reſſort bande la chaîne, c'eſt de cet inſtant que l'on compte la quantité de bande du reſſort ; on tournera donc juſqu'à ce que l'arbre ſoit parvenu à ſon repaire ; on égaliſe ſur le barillet les tours de la chaîne ; afin qu'elle s'applique bien ſur la fuſée, & ſans *chevaucher* les filets ; on mettra la roue de roſette en place ; on attachera la roſette avec ſes vis; on menera l'aiguille au milieu de la roſette, afin que le repaire ſe préſente au rateau ; on poſera le rateau à ſon repaire, & on mettra la couliſſe que l'on attachera avec ſes deux vis ; on examinera ſi on n'a pas dérangé le rateau de ſon repaire en poſant la couliſſe, ce qui ſe connoîtra en conduiſant l'aiguille aux extrémités de la roſette ; on mettra de l'huile à tous les trous de pivots de la petite platine ; on nettoiera le balancier avec un linge ; & les palettes & les pivots de la verge avec du liege ; on mettra le balancier en place ; on remontera le coqueret de cuivre après avoir nettoyé le trou du pivot ; on mettra le coqueret d'acier pour fixer l'un & l'autre ſur le

coq ; on mettra le coq en place, & ſes vis ; on remontera la fuſée d'un demi-tour, & la montre marchera ; on mettra de l'huile aux pivots de balancier ; on ôtera la montre de deſſus la main, afin de l'y replacer en la faiſant porter par la petite platine : alors on remontera le reſſort, prenant garde que la chaîne n'enjambe deſſus les filets de la fuſée ; on mettra de l'huile à tous les trous de pivots de la grande platine & du pont ; on remontera la roue de renvoi, la chauſſée & la roue de cadran, on placera l'entonnoir ſur le quarré de la fuſée ; enfin on mettra le cadran, & on l'attachera avec la vis ; on mettra les aiguilles, & on goupillera la chauſſée ; la montre ſera ainſi toute remontée.

2560. La montre étant donc remontée, on choiſira un ſpiral, & on l'ajuſtera ſur la virole de balancier, & ſur le piton ; on réglera la montre, c'eſt-à-dire, que l'on changera de ſpiral juſqu'à ce qu'elle ſoit à-peu-près réglée ; on la laiſſera marcher quelques jours dans la température actuelle de la chambre ; on notera, comme je le pratique pour ces ſortes d'épreuves, l'avance ou retard de la montre en 24 heures, & le degré de température où elle eſt expoſée ; enſuite après avoir bien mis la montre avec la pendule, je poſe la montre ſur l'outil décrit (1921), & qui eſt repréſenté (*Pl. XXIV, fig.* 5) ; j'entoure de glace pilée le verre qui recouvre la montre ; je note l'heure où la glace a fait deſcendre à ſon terme le thermometre qui eſt en dedans du verre : je laiſſe ainſi la montre pendant 12 heures, ayant ſoin de renouveller la glace à meſure qu'elle fond : je note l'écart que la montre a fait, & je dis : Puiſque la montre qui étoit réglée à 20 degrés de température, je ſuppoſe, retarde par le froid ; il ſuit de nos principes, que le balancier décrit de trop grands arcs, & que par conſéquent le reſſort eſt trop fort : je le fais donc diminuer, & je recommence l'épreuve juſqu'à ce que la montre ne varie pas du chaud au froid. Voyez les expériences que j'ai rapportées ſur cette matiere (art. 1904 *& ſuiv.*).

2561. Quand on aura ainſi réglé la montre par les différentes températures, il faudra la régler dans les deux ſitua-

tions, à plat & ſuſpendues. Pour cet effet, après avoir remonté le reſſort au haut, on la fera marcher ſuſpendue, & on notera la quantité dont elle aura avancé ou retardé en 12 heures, par exemple ; on remontera de nouveau le reſſort, afin qu'en la faiſant marcher à plat, ſi le reſſort n'eſt pas parfaitement égaliſé avec ſa fuſée, on ne mette pas ſur le compte de la différence de poſition, un écart qui pourroit n'être produit que par l'inégalité de la force motrice. On pourra donc avec cette précaution, juger de la différence que la montre fait *miſe à plat ou ſuſpendue*: ſi la montre avance, étant ſuſpendue, on ôtera du haut du balancier, & au contraire (*voyez* 1915). Quand on aura ainſi laiſſé marcher la montre pendant quelque temps, & qu'elle ſera bien réglée dans tous les cas, on la démontera pour la nettoyer; on polira les têtes des vis, & on les bleuira ; on polira les pieces d'acier ; on remontera la montre, & elle ſera finie.

Voilà le précis des recherches qui m'ont occupé juſqu'à préſent ; je vais, en continuant l'étude du bel art de l'Horlogerie, mettre en pratique les principes que j'ai expoſés dans cet Eſſai.

FIN.

TABLE

QUI marque la longueur que doit avoir un Pendule ſimple, pour battre en une heure de temps un nombre de vibrations donné, calculée pour différentes longueurs, depuis un pouce juſqu'à 80 pieds.

Nombre de vibrations par heure.	Longueur du Pendule. Pieds.	Pouces.	Lignes.	Douzièmes de ligne.
21000	0	1	0	11
20000	0	1	2	3
19000	0	1	3	9
18000	0	1	5	7
17900	0	1	5	9
17800	0	1	6	0
17700	0	1	6	2
17600	0	1	6	5
17500	0	1	6	7
17400	0	1	6	10
17300	0	1	7	1
17200	0	1	7	3
17100	0	1	7	6
17000	0	1	7	9
16900	0	1	8	0
16800	0	1	8	2
16700	0	1	8	5
16600	0	1	8	8
16500	0	1	8	11
16400	0	1	9	2
16300	0	1	9	6
16200	0	1	9	9
16100	0	1	10	0
16000	0	1	10	3
15900	0	1	10	7
15800	0	1	10	10
15700	0	1	11	2
15600	0	1	11	6
15500	0	1	11	9
15400	0	2	0	1
15300	0	2	0	4
15200	0	2	0	8
15100	0	2	1	0
15000	0	2	1	4
14900	0	2	1	8
14800	0	2	2	0
14700	0	2	2	5
14600	0	2	2	9
14500	0	2	3	0
14400	0	2	3	6
14300	0	2	3	11
14200	0	2	4	4
14100	0	2	4	9
14000	0	2	5	2
13900	0	2	5	7
13800	0	2	6	0
13700	0	2	6	5
13600	0	2	6	11
13500	0	2	7	4
13400	0	2	7	9
13300	0	2	8	3
13200	0	2	8	9
13100	0	2	9	3
13000	0	2	9	9
12900	0	2	10	3
12800	0	2	10	10
12700	0	2	11	5
12600	0	2	11	11
12500	0	3	0	6
12400	0	3	1	1
12300	0	3	1	9
12200	0	3	2	4
12100	0	3	3	0
12000	0	3	3	8
11900	0	3	4	4
11800	0	3	5	0
11700	0	3	5	8
11600	0	3	6	4
11500	0	3	7	8
11400	0	3	7	11
11300	0	3	8	8
11200	0	3	9	5
11100	0	3	10	4
11000	0	3	11	2
10900	0	4	0	1
10800	0	4	0	11
10700	0	4	1	10
10600	0	4	2	10
10500	0	4	3	9
10400	0	4	4	9
10300	0	4	5	10
10200	0	4	6	10
10100	0	4	8	0
10000	0	4	9	1
9900	0	4	10	3
9800	0	4	11	5
9700	0	5	0	8
9600	0	5	1	11
9500	0	5	3	3
9400	0	5	4	7
9300	0	5	6	1
9200	0	5	7	4
9100	0	5	8	9
9000	0	5	10	6
8900	0	5	11	11
8800	0	6	1	9
8700	0	6	3	5
8600	0	6	5	3
8500	0	6	7	0
8400	0	6	8	11
8300	0	6	10	11
8200	0	7	0	11
8100	0	7	3	0
8000	0	7	5	2
7900	0	7	7	6
7800	0	7	9	10
7700	0	8	0	4
7600	0	8	2	11
7500	0	8	5	6
7400	0	8	8	3
7300	0	8	11	2
7200	0	9	2	2
7100	0	9	5	4
7000	0	9	8	5
6900	0	10	0	8
6800	0	10	3	2
6700	0	10	7	3
6600	0	10	11	1
6500	0	11	3	2
6400	0	11	7	4
6300	1	0	0	0
6200	1	0	4	7
6100	1	0	9	6
6000	1	1	2	8
5900	1	1	8	1
5800	1	2	1	10
5700	1	2	7	10
5600	1	3	2	2
5500	1	3	8	10
5400	1	4	3	11
5300	1	4	11	4
5200	1	5	7	3
5100	1	6	3	7
5000	1	7	0	6
4900	1	7	9	11
4800	1	8	7	11
4700	1	9	6	7
4600	1	10	6	0
4500	1	11	6	1
4400	2	0	7	1
4300	2	1	8	11
4200	2	2	11	10
4100	2	4	3	10
4000	2	5	9	0
3900	2	7	3	7
3800	2	8	11	7
3700	2	10	9	3
3600	3	0	8	10
3500	3	2	9	10
3400	3	5	2	2
3300	3	7	8	7
3200	3	10	5	6
3100	4	1	6	6
3000	4	4	10	9
2900	4	8	7	4
2800	5	0	8	8
2700	5	5	3	4
2600	5	10	5	1
2500	6	4	2	1
2400	6	10	7	10
2300	7	6	0	0
2200	8	2	4	4
2100	8	11	11	6
2000	9	11	0	3
1900	10	11	10	7
1800	12	2	11	4
1700	13	8	8	10
1600	15	5	11	10
1500	17	7	7	2
1400	20	2	10	10
1300	23	5	8	7
1200	27	6	6	8
1150	30	0	0	0
1100	32	9	5	7
1050	35	11	10	0
1000	39	8	1	2
950	43	11	2	8
900	48	11	9	4
850	54	10	11	6
800	61	11	10	10
750	70	6	4	9
700	80	11	7	7

Remarques ſur la Table des longueurs des Pendules.

CETTE TABLE eſt dreſſée d'après l'expérience que je fis il y a pluſieurs années avec un Pendule ſimple de 30 pieds de longueur qui fit conſtamment 450 vibrations par heure : or, on trouve par analogie, que le Pendule à ſecondes devroit être de 3 pieds 8 lig. $\frac{10}{11}$, c'eſt-à-dire, environ $\frac{1}{4}$ de ligne plus long que ne l'ont trouvé MM. de Mairan, Bouguer & l'Abbé de la Caille. Selon ces ſavants Académiciens, le Pendule ſimple à ſecondes eſt à Paris de 3 pieds 8 lig. $\frac{57}{100}$: je ne certifie pas l'exactitude de ma détermination, je préfere au contraire celle de MM. de Mairan, Bouguer & de la Caille ; car outre que leurs expériences ſont faites avec toutes les attentions imaginables, ils y ont fait entrer la conſidération du poids, du fil, &c, que j'avois cru pouvoir négliger : ma Table étoit dreſſée lorſque je me ſuis inſtruit de leurs recherches ; mais je n'ai pas cru devoir la recommencer pour cette petite différence, qui n'eſt de nulle conſidération pour ſon uſage en Horlogerie. Au reſte ceux qui deſireront avoir exactement la longueur d'un pendule ſimple, feront cette analogie : Le quarré du nombre des vibrations du pendule cherché eſt au quarré des vibrations du pendule à ſecondes, comme la longueur du pendule à ſecondes (qui eſt ici 44057 centiemes de ligne) eſt à celle du pendule cherché (n°. 1526).

TABLE ALPHABÉTIQUE
DES MATIERES;
Avec les définitions des Termes qui n'ont pas été données dans le cours de l'Ouvrage.

Les Chiffres romains I. & II. marquent le Tome premier ou ſecond; la Lettre n. *indique le numéro où l'on doit recourir pour l'explication ou définition du terme cherché.*

A

Accéléré, ſe dit d'un mouvement dont la viteſſe s'augmente à chaque inſtant.

Acier, le plus dur des Métaux. L'acier eſt naturel ou préparé. *Voyez le premier volume de l'Encyclopédie.*

Sa dilatation, II. n. 1696. Eſt préférable au fer pour les verges de Pendule, II. n. 1719, 1752.

Agent ou *Moteur* : puiſſance qui fait mouvoir une roue, I. n. 42.

Aiguille : index qui marque les parties du temps. Ajuſtement des aiguilles, I. n. 1201. des ſecondes; ſon poids augmente le frottement, II. n. 1995. Effet de ſon inertie, II. n. 1622. de roſette, I. n. 169. On peut auſſi rétrograder les aiguilles d'une répétition, I. n. 191.

Aile, ſe dit auſſi de la dent d'un pignon.

Alaiſoir, outil rond pour polir les trous des pivots, I. n. 831.

Alexandre (le Pere), Diſcours préliminaire, *p.* xxxiv. I. n. 289.

Alidade, I. n. 431.

Alongement des Métaux par la chaleur, *voyez* Dilatation.

Ancre ou piece d'échappement, I. n. 39. Le tracer pour rendre les oſcillations iſochrones, I. n. 1324. Son exécution, I. n. & 1336. Plus les bras de l'ancre ſont courts, plus le frottement eſt réduit, II. n. 2267.

Arbre, *Aiſſieu*, *Tige* ou *Axe*, termes ſynonymes pour déſigner une piece qui ſe meut ſur elle-même.

Arbre à fuſée, I. n. 479.

Arbre liſſe, I. n. 496.

Arbre à vis, I. n. 482.

Arc de levée de l'échappement, I. n. 399. de vibration, I. n. 400. Différence des arcs de vibration du pendule de l'Horloge aſtronomique, en paſſant de l'été à l'hiver, II. n. 2265. Limites de l'étendue des arcs décrits par le pendule, II. n. 1621. *& ſuiv.* 2040.

Archet, branche de baleine ou autre, qui bande une corde pour entourer un cuivrot ou poulie, & le faire tourner.

Argent, ſa dilatation, II. n. 1696.

Aſſiette, ſe dit en Horlogerie d'une baſe qui reçoit une roue ou autre, pour s'y fixer & appuyer : pour fixer la roue ſur ſon axe, I. n. 879. Préparation pour les ſouder, I. n. 880. Maniere de les ſouder & de tremper l'axe, n. 887.

Atmoſphere : on appelle ainſi l'air qui environne la terre : cet air n'eſt pas toujours également peſant comme on le voit par les Barometres.

Avance & retard : tige qui paſſe au cadran des Horloges à cartels pour régler la machine, I. n. 1299, 120.

Axiome, principe qui porte avec ſoi l'évidence.

B

Balancier, ce que c'eſt, I. n. 124. Comment ſa viteſſe augmente ou diminue, n. 128. Il eſt le régulateur des machines portatives, n. 131. Comment on le doit travailler ; la matiere que l'on doit employer pour le faire, n. 556, 557. doit être léger du centre, n. 552. Le Balancier ſimple a la propriété de conſerver ſon mouvement par toutes ſortes de poſitions, I. n. 124, II. n. 1806. n'a par lui-même aucune tendance à ſe mouvoir d'un côté plus que de l'autre, n. 1807. Sa viteſſe eſt variable ſelon le plus ou moins de force qui le meut, n. 1808. Les oſcillations du balancier réglées par le ſpiral ne ſont pas iſochrones, II. n. 1816. Elles approchent d'autant plus de l'iſochroniſme, que le balancier eſt léger & le ſpiral fort, n. 1817. Principes ſur les balanciers : on prouve qu'un grand balancier eſt préférable à un plus petit, II. 1826. que deux balanciers d'égales grandeurs & d'inégales viteſſes, ayant une peſanteur qui ſoit en raiſon inverſe du quarré des viteſſes ; 1°, qu'ils ont la même force de mouvement ; 2°, que les frottements des pivots ſont en raiſon inverſe des viteſſes, II. n. 1828. qu'un grand balancier léger, dont les vibrations ſont promptes, vaut mieux qu'un grand balancier peſant, dont les vibrations ſont lentes, n. 1831. Deux balanciers d'inégales grandeurs & de même peſanteur & même viteſſe, & les pivots de même groſſeur, produiront des frottements qui ſont en raiſon inverſe des diametres des balanciers, n. 1825. On prouve qu'un balancier léger à vibrations promptes eſt préférable à un grand balancier peſant à vibrations lentes, II. n. 1833. & celui-là eſt préférable, qui étant grand & léger, fait des vibrations promptes, n. 1834. un grand balancier léger qui décrit de grands arcs, préférable au balancier de même diametre qui eſt peſant, & décrit de petits arcs, II. 1836.

Sur le calcul du poids des balanciers, comparer les viteſſes de deux balanciers, II. n. 1948. Trouver la peſanteur que doit avoir le balancier d'une Montre à cylindre, pour que ſa force ſoit dans le rapport convenable avec le moteur, II. n. 1955. Le diametre d'un balancier étant donné, trouver le nombre de vibrations qu'il devra faire pour avoir à ſa circonférence la même viteſſe qu'un autre balancier petit, II. n. 1976. Remarque ſur le calcul de la peſanteur des balanciers, II. n. 2272. Donner au balancier la peſanteur néceſſaire, afin qu'il ſoit dans un tel rapport avec le moteur, que le chaud & le froid ne changent pas la juſteſſe de la Montre, II. n. 1890, 1891, 1904, 1908, 1910, 1917, 1919.

Faire tirer le Balancier, I. n. 609, 610. faire ſon repaire, I. n. 616, II. n. 2534.

Barette, ou bride pour le reſſort de barillet, I. n. 174. On appelle auſſi *Barette* une ſorte de pont pour alonger le tigeron du pignon, I. n. 574. quand elles ſont bien faites, l'uſage en eſt fort bon, II. n. 2405.

Barillet ou *Tambour*, piece dans laquelle on enferme le reſſort moteur, I. n. 79, 791. de Montre II. n. 2467.

Barometre à aiguille, I. n. 687. ſa conſtruction, 694.

Baſcule, petit levier qui agit ſur le marteau pour l'élever, I. n. 1050.

Bâti, ſorte de cage.

Bernoulli, (M.) II. n. 1879.

Bigorne, outil, I. n. 805.

Biſſextile, année de 366 jours. On a imaginé un méchaniſme, pour faire qu'une roue annuelle faſſe tantôt ſa révolution en 365, & tantôt en 366 jours, I. n. 232 & n. 367.

Bleuir les pieces d'acier, I. n. 1384.

Bois, s'alonge par la chaleur & par l'humidité ; il eſt ſujet à de grands écarts ; ne vaut rien pour les verges de pendules, II. n. 1698.

Borax, ſel qui facilite la fuſion du cuivre, de l'argent, la ſoudure, &c. I. n. 802.

Bouchon excentrique, I. 720 & 1001.

Bouchon de trou à pivot, doit être de cuivre de chaudiere, I. n. 906. II. n. 2489.

Bouchon ou *Tampon* pour les Cylindres, I. n. 407. II. n. 2352.

Bouguer (M.) II. n. 1523.

Braſer, I. n. 1079.

Broche à lunette, outil, I. n. 503.
Broches, tiges ſur leſquelles on fait rouler librement des roues, canon ou pieces de cadratures, I. n. 1095, 1098.
Bruniſſoir, outil à polir, I. n. 847.
Burin, outil d'acier trempé, dont les Horlogers ſe ſervent pour tourner.

C

Cadran, piece graduée pour marquer les parties du temps.
Cadran d'émail; détail de pratique pour faire un cadran d'émail, I. n. 1164. faire la plaque, n. 1165. préparation de l'émail, n. 1169. de la plaque, avant de la charger d'émail, 1175. du fourneau 1181. de l'arrangement du charbon & de la mouffle, n. 1183. paſſer le cadran au feu, n. 1186. le peindre, n. 1191. noir d'écaille pour peindre n. 1196. maniere de le préparer, n. 1197. *cadran mobile* pour produire l'équation, I. n. 238.
Cadrature, I. n. 182. On appelle en général *Cadrature* les pieces d'une Répétition qui ſont ſituées ſous le cadran; comment tracer la cadrature dans une Pendule, I. n. 1002. de ſon exécution, n. 1019.
Cage, I. n. 35, 728. De Montre, II. n. 2446.
Calcul des révolutions d'un rouage, ſans faire uſage des fractions, II. n. 1450. par les fractions, n. 1465.
Calibre ou *Plan*, ſur lequel on trace la diſpoſition des machines que l'on veut exécuter.
Calibre de Montres, à équation, à ſecondes d'un ſeul battement, à répétition, allant un mois, marquant les mois de l'année, &c, I. n. 328. d'une Montre à répétition à ſecondes allant huit jours, I. n. 300. d'une Montre à répétition à ſecondes de deux battements, marquant les mois de l'année & leurs quantiemes, I. n. 322. Quand on trace le calibre d'une Montre, il faut éviter qu'il ne paſſe aucune piece ſur les trous des pivots, I. n. 573. Tracer le calibre de la Pendule à répétition, I. n. 709. Calibre d'une bonne Montre à roue de rencontre; comment le tracer, II. n. 2367.
Calibre à pignon, outil, I. n. 484.
Camus (M.), a traité des figures des dents des roues, II. n. 1447.
Canon métallique de M. Rivaz, II. n. 1742.
Centre de mouvement, c'eſt le point autour duquel une piece tourne.
Centre d'oſcillation ou *de percuſſion*, II. n. 1527.
Centrifuge (force); on appelle ainſi celle avec laquelle un corps qui tourne, tâche de s'éloigner de ſon centre.
Chaleur, dilate tous les corps, II. n. 1662. Son effet ſur les Pendules, *voyez* Dilatation. Elle fait avancer une Montre dont les frottements ſont dans un trop grand rapport avec la force de mouvement du régulateur, II. n. 1883. & au contraire, la chaleur fait retarder une Montre dont les frottements ſont dans un trop petit rapport avec la force de mouvement du balancier, II. n. 1884, 1888. Son action rend les huiles plus fluides, ce qui diminue le frottement & augmente la viteſſe des vibrations, II. n. 1882.
Chalumeau, tuyau recourbé par le petit bout, I. 834.
Champ d'une roue, I. n. 787.
Chanfrein, pour river, I. n. 810.
Chauſſée, I. n. 130, d'une Pendule; comment ſe fait, I. n. 910.
Chevilles de la poulie de répétition; comment ſe placent, I. n. 1124.
Clavette, piece qui ſert à retenir deux roues, en leur donnant la liberté de tourner ſéparément, I. n. 65, 246.
Clepſydre ou Horloge d'eau, Diſcours préliminaire, *page* xxvij.
Cliquet, piece qui ſoutient l'effort du moteur, & facilite le remontage.
Compas à cercle, I. n. 475. d'épaiſſeur, n. 478, à meſurer les groſſeurs des pivots, II. n. 2273.
Compenſation: j'appelle en général *Compenſation* dans les machines qui meſurent le temps, un effet qui eſt tel, que deux vices d'une même machine étant mis en oppoſition, ils ſe détruiſent mutuellement, enſorte qu'il en réſulte la plus grande perfection pour la machine; par exemple, les verges de Pendules ſe dilatent par la chaleur, défaut qui peut être corrigé en appliquant à côté de la verge une barre d'un métal plus extenſible, qui en ſe dilatant, remonte autant la lentille que la verge d'acier l'avoit fait deſcendre, & de

ſorte que le pendule ne change pas de longueur ; c'eſt cet effet que j'appelle *compenſation*. De même dans les Montres le froid augmente l'élaſticité ou force du reſſort ſpiral, ce qui tend à accélérer les oſcillations du balancier, & la même action du froid agiſſant ſur les huiles des pivots de balancier, augmente le frottement, ce qui tend à retarder ſes oſcillations. Ces deux vices peuvent donc ſe détruire, en ſorte qu'il en réſulte une telle compenſation que la Montre marche conſtamment, comme ſi le chaud & le froid n'avoit aucune action ſur elle, II. n. 1887, 1894.

Regles pour parvenir à cette ſorte de compenſation dans les Montres, II. n. 1887, 1889, 1890, & 2277. J'ai prouvé que pour la compenſation, il faut que les arcs de vibrations, groſſeurs des pivots, &c. doivent varier ſelon le rapport des frottements à la force de mouvement du régulateur, II. n. 1891, 1893. Pour que la compenſation ait toujours lieu, il faut que la force motrice & les frottements ſoient conſtants, II. n. 2281. Expériences qui prouvent que les principes que j'ai établis pour compenſer les effets du chaud & du froid dans les Montres, ſont vrais, II. 1904, *& ſuiv.* 1908, 1917 & 1919. Autre ſorte de compenſation qui peut avoir lieu dans les Montres à cylindre, lorſque les huiles ſont coagulées, II. n. 1896.

Concentrique, qui a le même centre. On dit que deux aiguilles ſont concentriques, lorſqu'elles ont le même centre de mouvement.

Condenſation, terme qui exprime la diminution de volume d'un corps par le froid.

Contact, point de contact, I. n. 331.

Contraction, voyez *Condenſation.*

Contrepotence, I. n. 146, II. n. 2396.

Coq d'échappement, doit être épais, I. n. 567, ſon exécution, II. n. 2480 *& ſuiv.*

Coqueret, I. n. 163, II. n. 2482.

Corps. La viteſſe que deux corps qui ſe ſoutiennent en équilibre, tendent à acquérir par un mouvement communiqué, eſt en raiſon inverſe des maſſes, II. n. 1408.

Couliſſe, I. n. 167, II. n. 2429.

Couliſſerie, I. n. 167. ſon exécution, II. n. 2472.

Courbe d'équation ; comment la tailler dans une Pendule, I. n. 330. dans une Montre, n. 340.

Courbures des dents des roues, II. n. 1430 *& ſuiv.*

Couteau de ſuſpenſion ; l'angle de ce couteau doit varier ſelon le poids de la lentille, II. n. 2268. ſon exécution, n. 1549.

Couvercle de barillet, I. n. 791.

Cremaillere, I. n. 183.

Crochet de fuſée, I. n. 172.

Croiſée, I. n. 783.

Croiſées (finir les), I. n. 966.

Cuivre, ſa dilatation, II. n. 1696. rouge, *ibid.*

Cuivrot, eſpece de poulie, I. n. 225. cuivrot briſé, n. 486.

Cycloïde, Diſcours préliminaire, *p.* xxix.

Cylindre ſur lequel la corde qui porte le poids eſt entourée, I. n. 59, & 245. eſt préférable à une poulie, note du n. 59.

Cylindre, (piece de l'échappement à) obſervation ſur les frottements du Cylindre ; comment les rendre plus conſtants, II. n. 2292. Comment faire l'ouverture du cylindre, n. 2348.

D

D'Alembert, (M.) I. n. 19.

De la Caille, (M. l'Abbé) Plan de l'Ouvrage, *page* ix, xxvj, I. n. 361. II. n. 1517.

De la Lande, (M.) II. n. 1447.

Dent, eſpece de levier, *voyez* Levier.

Principes ſur les courbures des dents des roues, II. n. 1430. La dent qui mene le flanc de l'aile d'un pignon ne peut être formée par une ligne droite 1435. Sa courbure, n. 1436. comment la déterminer, n. 1437. celle du pignon, 1439. Tracer la courbe des dents de la roue & du pignon, n. 1441.

Denture, de leur exécution, I. n. 969. & ſuiv. *à vis ſans fin* ; défectueuſes, 972.

Deſſus de Platine, I. n. 178.

Détente, piece d'une ſonnerie qui ſuſpend l'action du rouage, & qui écartée, laiſſe ſonner, I. n. 82.

Détentillon, I. n. 84.

Dilatation, terme de Phyſique, par lequel on exprime l'effet de la chaleur ſur les corps pour en augmenter le volume : Extenſion eſt ſynonime.

Expériences ſur la dilatation & contration des Métaux, II. n. 1691, *& ſuiv.* Table de leur dilatation, n. 1696. Les Métaux ſe dilatent en tout ſens, n. 1699. La dilatation eſt différente quand le corps eſt chargé d'un poids, n. 1697. Tous les corps de même eſpece ne ſe dilatent pas également, n. 1732, 2252. Loix de la dilatation, n. 2256.

Diviſer un pignon pour le fendre, I. n. 865. un cylindre pour en faire l'ouverture juſte, pour produire la levée donnée, II. n. 2348.

Doigt d'une répétition, I. n. 109.

Dorure en or moulu, I. n. 1226, *& ſuiv.*

Drageoir: rainure faite pour retenir le couvercle de barillet, I. n. 814. ou dans une boîte pour le cryſtal.

Dreſſer un pignon, I. n. 928. un pignon après la trempe, n. 890. la face d'un pignon, I. n. 870, 898.

Dutertre, (Jean-Baptiſte) pere d'un Horloger du même nom: Diſcours préliminaire, *p.* xlv.

E

Echantillon à roue de rencontre, outil, I. n. 487. II. n. 2355.

Echappement défini, I. n. 38, 135, à roue de rencontre, I. n. 136. décrit, n. 416. à cylindre, n. 401. à double levier, n. 423. à ancre, n. 427. à repos; ſes effets expliqué, n. 396. Son exécution en Pendule, n. 1386. Propoſitions ſur les échappements; celui à repos rend les oſcillations du pendule libre plus lentes, II. n. 1626. Expériences qui le prouvent, n. 1633. L'échappement à recul accélere la vibration du pendule libre, n. 1627. Expériences ſur les échappements, 1646, *& ſuiv.* 1651. Il faut réduire, autant qu'il eſt poſſible, la traînée de l'échappement, n. 1658. Combien les échappements troublent les oſcillations du pendule libre, n. 1654. Comment on peut parvenir à faire un échappement qui ſoit iſochrone, n. 1629, *& ſuiv.* Il doit être à recul, n. 1631. Le recul doit varier, n. 1637. Echappement rendu iſochrone expérience, n. 1661. L'échappement à cylindre ne peut corriger les inégalités de la force motrice, n. 1927. L'huile que l'on met à cet échappement eſt une ſource de variations, I. n. 628. Le frottement dans l'échappement à repos change la juſteſſe de l'horloge, II. n. 2266, & 2267. De l'exécution de l'échappement à cylindre, n. 2342. Comment un échappement de Montre pourroit être rendu iſochrone, II. n. 1929, 1933. Obſtacle, n. 1934. Avec celui à roue de rencontre on peut parvenir aſſez ſenſiblement à l'iſochroniſme pour corriger les effets des huiles du rouage, 1934.

Echappement, mettre l'horloge dans ſon échappement; uſage de la vis de rappel de la fourchette pour cela, I. n. 77.

Regles générales ſur les conditions requiſes pour obtenir le meilleur échappement, II. n. 2267.

Ecrou, piece percée & taraudée.

Ecrou pour régler les horloges à Pendule; maniere de les graduer, II. n. 1745.

Ecrouir, I. n. 729.

Efflanquer, (lime à), I. n. 871.

Elaſticité, propriété des corps par laquelle, lorſque leur figure a été changée par quelque effort, ils reprennent cette figure dès que l'effort vient à ceſſer. C'eſt par cette propriété élaſtique des corps que les reſſorts font marcher les machines qui ſervent à meſurer le temps. Propoſitions pour ſervir à prouver comment un reſſort perd ſon élaſticité, II. n. 1980. Application de ce principe, 1981. Le changement de la température eſt la cauſe de la diminution de l'élaſticité des reſſorts moteurs, 1982, 1983. Un reſſort ne perd de ſon élaſticité que pendant qu'il eſt bandé; s'il fait des vibrations promptes, il perd une très-petite partie de ſa force élaſtique, 1984. On tire de-là, 1°, que ſi dans une Montre le reſſort eſt long-temps à ſe débander, il perdra une plus grande quantité de ſa force élaſtique, 1985: 2°, le reſſort ſpiral du balancier doit perdre fort peu de ſa force élaſtique. n. 1986. Tous les reſſorts moteurs ne perdent pas également de leur force élaſtique, 1987.

Ellipſe, ou courbe, I. n. 224. Comment la tailler, n. 300.

Encliquetage, I. n. 54.

Enderlin, (M.) Horloger, Diſcours préliminaire, *page* xlv.

Engrenage défini, I. n. 40. Effets des mauvais engrenages, II. n. 1425, *& ſuiv.* faits ſur l'outil; comment les marquer

ſur la cage pour percer les trous, I. n. 974, 991, *& ſuiv.*

Engrener en plein, I. n. 923.

Ennarbrée, roue, I. n. 895.

Entonnoir ou réſervoir pour l'huile des pivots, I. n. 908. Voyez *Réſervoir.*

Emboîtage du mouvement de l'horloge à repétition, I. n. 1144.

Equarriſſoir, outil à pan pour agrandir les trous.

Equation du temps ou des horloges, I. n. 11.

Pendule d'équation à deux aiguilles de minutes concentriques, I. n. 217. à deux aiguilles & deux cadrans, n. 281. Horloge à équation qui fait changer la longueur du pendule, n. 290. Montre d'équation à répétition, à ſecondes d'un ſeul battement, n. 300. Allant un mois, n. 328. à 30 heures, n. 322. Comment on doit exécuter les courbes d'équation des Pendules & des Montres, I. n. 330, *& ſuiv.* 340, &c. de l'utilité des Montres à équation, I. n. 356.

Equilibre, ſe dit de deux puiſſances qui étant en action oppoſée, reſtent en repos.

Etain: ſa dilatation, II. n. 1696.

Etampe, outil, I. n. 834. Etamper un trou, 835.

Etau à mouvement parallele, incliné, &c, I. n. 488.

Etau à main, I. n. 868.

Etoffe de pont; acier pour les reſſorts de Pendules, I. n° 1256.

Etoile; ſorte de roue dont les dents ſont faites en rayons; l'étoile ſert à porter le limaçon des heures, I. n. 108.

Etuve: boîte qui renferme le méchaniſme du pyrometre pour produire la chaleur à volonté, 1679. Comment la chaleur s'introduit dans l'étuve, 1686.

Excentricité du ſoleil, I. n. 15.

Excentrique, qui n'a pas même centre de mouvement.

Excentrique, ou porte-pivot, I. n. 1342.

F

Fauſſe-plaque, I. n. 1148.

Faux piliers, I. n. 1149.

Fendre les roues ennarbrées, I. n. 435. la roue d'échappement & la finir, I. n. 1316.

Fer, ſa dilatation, II. n. 1696. Fer doré ſe dilate, omme s'il ne l'étoit pas, n. 1702.

Filiere, (outil) plaque d'acier trempée dans laquelle il y a des trous de diverſes grandeurs qui ſont taraudés pour y canneler les vis.

Force. La meſure de la force des corps en mouvement eſt en raiſon compoſée de leurs maſſes par le quarré de leur viteſſe, II. n. 1935. La force employée à donner le mouvement à un corps eſt comme le produit de la maſſe de ce corps par le quarré de la viteſſe qu'il a acquiſe, 1936. Corollaire de ce principe, n. 1937.

Force motrice: combien il eſt eſſentiel qu'elle ſoit dans un parfait rapport avec le régulateur, ſans quoi la compenſation du chaud & du froid ne peut avoir lieu, II. n. 1965. Elle doit être conſtante, ſans quoi la Montre variera du chaud au froid, II. n. 1978, 1979, & 2281.

Force de mouvement des balanciers, II. n. 1942, *& ſuiv.* Principes ſur la quantité de force motrice requiſe pour donner le mouvement au balancier, II. n. 1942, *& ſuiv.* Calcul de la force tranſmiſe par le moteur à la derniere roue du rouage, II. n. 1412, *& ſuiv.* Regle générale ſur cette force, 1416. Application de cette regle, 1418. Les frottements des pivots & l'inertie des roues diminuent cette force, 1422. L'épaiſſiſſement des huiles change d'autant plus la force motrice qu'elle eſt petite, II. n. 2280. Comment on peut rendre conſtante la force que le moteur tranſmet au régulateur, n. 2282.

Foret, outil pour percer les trous, I. n. 496.

Foret à tenon, outil, I. n. 959.

Foret à chanfrein, I. n. 908.

Fourchette: ſon effet, I. n. 1300. Sa longueur, n. 1310.

Fourchette à tige, mobile par une vis de rappel, pour mettre la Pendule dans ſon échappement, I. n. 78.

Fraiſes, limes circulaires pour fendre les roues, I. n. 438.

Friſer les pointes des dents des roues avant d'achever de les arrondir, I. n. 978. En faiſant rouler les pivots dans des trous, n. 980. des dents de chauſſées & roues à canon, n. 981.

Froid: ſon action raccourcit ou contracte tous les corps, II, n. 1662. Le même degré

de froid ou de chaleur fait également varier les horloges à pendule, ſoit que ces pendules ſoient longs ou courts, II. n. 1717. Du degré de froid dont je me ſuis ſervi pour mes expériences ſur la dilatation & contraction des Métaux, n. 1689. Son action ſur les huiles des pivots, en augmentant les frottements, rend les oſcillations du balancier plus lentes, n. 1881. L'action du froid dans une Montre produit deux effets contraires qui peuvent ſe détruire & produire la compenſation, n. 1882, 1885. L'action du froid ſur le grand reſſort n'en change pas aſſez ſenſiblement la force, pour influer ſur la juſteſſe de la Montre, n. 1896.

Frottement : ce que c'eſt, II. n. 1838. Tous les corps qui ſe meuvent ont du frottement, n. 1840. Expérience ſur la force requiſe pour vaincre les frottements, n. 1848, *& ſuiv.* Une plus grande ſurface n'augmente pas ſenſiblement le frottement, n. 1854. Calcul du frottement, n. 1858. Maniere de réduire le frottement, n. 1841, *& ſuiv.* 1863, 1869. Ce n'eſt pas tant à la quantité abſolue des frottements à laquelle il faut avoir égard, qu'à rendre ce frottement conſtant, n. 1875. Pour rendre le frottement conſtant il faut proportionner le nombre des parties frottantes à la preſſion, viteſſe, &c. & différemment ſelon la dureté des corps, n. 1876. comment les rendre conſtants dans une Montre, n. 2298, 2369. Les frottements peuvent n'être pas les mêmes dans des Montres de même dimenſion, n. 2295. Le frottement des pivots de balancier augmente la durée des vibrations, n. 1819. Si on parvenoit à détruire le frottement des pivots de balancier d'une Montre, cette machine feroit de fort grands écarts, les frottements ſont donc la cauſe de la juſteſſe des Montres, n. 1894. Effet du frottement dans un échappement à repos, II. n. 2265.

Frottement de l'air, II. n. 1879.

Fuſée : ſes propriétés, I. n. 149, 449, *& ſuiv.* Maniere de tailler une fuſée, n. 465. l'égaliſer, n. 467.

G

Garde-chaîne, I. n. 172. à plot eſt préférable, n. 576. Son exécution, II. n. 2471.

Gaudron, (M.) Diſcours prélimin. *p.* xlv.

Goupille, cheville un peu en pointe qui ſert à aſſembler deux pieces l'une contre l'autre.

Goutte de ſuie, pour retenir l'huile aux pivots de balancier, II. n. 2425, 2431. de roue de rencontre, n. 2426.

Graham, (M.) célebre Horloger Anglois, de la Société Royale de Londres, Diſcours préliminaire, *p.* xliij.

H

Heure, vingt-quatrieme partie du jour.

Horizion, cercle qui ſépare la partie viſible du ciel de celle que l'on ne voit pas.

Horizontal, poſé de niveau.

Horloge, machine qui meſure le temps, I. n. 44. Premieres notions que l'on doit prendre d'une machine qui meſure le temps, I. n. 20, *& ſuiv.* juſqu'au n. 35.

Horloge aſtronomique : Deſcription de cette Horloge qui va un an ſans monter ayant une ſonnerie de ſecondes : pendule compoſé, &c. II. n. 1768, *& ſuiv.*

Recherches & expériences ſur la derniere Horloge aſtronomique que j'ai compoſée, II. n. 2008. Du pendule compoſé à chaſſis, n. 2010. Premiere expérience faite avec ce pendule, n. 2011, 2012. Réſultat de cette expérience, n. 2013. Seconde expérience, n. 2014. Réſultat de cette expérience, qui prouve que la lentille étant plus de temps que la verge à être pénétrée par les différentes températures, la compenſation n'eſt pas exacte ; comment j'ai remédié à ce défaut, n. 2015. Troiſieme expérience, n. 2016. Réſultat de cette expérience, par lequel on voit à quel degré de perfection je ſuis parvenu à compenſer les effets du chaud & du froid ſur le pendule, n. 2017. Cette expérience confirme les rapports établis ſur les dilatations des Métaux, n. 2020. De l'utilité du pyrometre pour juger de la bonté d'un pendule compoſé, n. 2021. Détail ſur la ſuſpenſion du pendule, n. 2023. Deſcription de l'horloge aſtronomique, n. 2030. De la ſonnerie des ſecondes, n. 2046. Maniere de régler une horloge aſtronomique par les étoiles fixes, I. n. 383. par le paſſage du ſoleil au méridien, n. 376, &c.

Horloge Marine. Recherches pour parvenir à ſa conſtruction, II. n. 2080, *& ſuiv.* Analyſe des propriétés du Pendule, 1°, la peſanteur de la lentille, n. 2082. Le peu de frottement du point de ſuſpenſion, n. 2083. Cauſes de l'iſochroniſme des vibrations du pendule & de la juſteſſe de l'horloge aſtronomique; 1°, l'action conſtante de la peſanteur, n. 2085. 2°, Le peu de force du moteur qui en entretient le mouvement, n. 2086, 2090. 3°. La force motrice eſt un poids dont l'action eſt conſtante, n. 2087. 4°. Un pendule compoſé pour compenſer les effets du chaud & du froid. 2088. Le frottement de la ſuſpenſion eſt conſtamment le même, n. 2089.

Comment on peut ſubſtituer aux horloges de mer les propriétés d'une horloge aſtronomique, n. 2092. par un balancier peſant, 2094. fort grand, n. 2095. Subſtituant à l'effet de la peſanteur un reſſort ſpiral, n. 2096. En formant le régulateur de deux balanciers, n. 2097. En ſuſpendant l'horloge dans le vaiſſeau, de ſorte qu'elle reſte toujours ſenſiblement horizontale, n. 2098. Les balanciers ſe mouvant horizontalement, n. 2099. Suſpendus par des reſſorts, n. 2100. Faiſant rouler les pivots de balanciers dans des trous faits à des agathes orientales, n. 2104. En adaptant une machine qui compenſe les effets du chaud & du froid ſur l'horloge, n. 2121.

Détails de la ſuſpenſion pour maintenir l'horloge horizontale, n. 2101. Un reſſort à tire-bourre pour adoucir les cahotages du vaiſſeau, n. 2102. Eviter les mouvements de trépidation du vaiſſeau, n. 2103. Deſcription de la ſuſpenſion de l'horloge marine, n. 2126. Deſcription de l'horloge, n. 2131. Détail de main-d'œuvre, des reſſorts ſpiraux des balanciers, n. 2165. Des agathes dans leſquelles roulent les pivots de balancier, n. 2169. De l'échappement, n. 2174. Des verges de compenſation. Expériences, n. 2182. Défauts de ces verges, n. 2190. Comment j'y ai remédié, n. 2192. Dimenſions de ces verges, n. 2201. Expériences qui prouvent que la compenſation du chaud & du froid ſe fait parfaitement, n. 2204. Ecart que fait l'horloge quand on ſuſpend l'effet des verges de compenſation, d'où l'on voit combien elles ſont eſſentielles à la perfection de la machine, n. 2208.

Horloge Marine plus ſimple, n. 2210. Le moteur eſt un poids, n. 2217. Détail des autres parties de l'horloge, n. 2218. Deſcription de cette horloge, n. 2227. Deſcription du poids, n. 2235.

Horloge Marine d'une autre combinaiſon, n. 2242.

Horloge d'équation, ce que c'eſt, I. n. 217. préſentée à l'Académie en 1752, I. n. 265. Ses défauts, n. 275.

Horloge d'équation à cercle mobile, I. n. 238. à équation produite par le pendule qui s'alonge & s'accourcit, I. n. 290. Ses défauts, n. 294.

Horloges ordinaires à pendule : Examen des cauſes qui les font arrêter & varier, I. n. 634. à reſſort; comment le régulateur doit être conſtruit, II. n. 1632. Expériences ſur une horloge à reſſort, échappement à repos, n. 1633.

Horloge à ſecondes (ordinaire) : Variation qui eſt produite par la dilatation & contraction de la verge du pendule, II. n. 1707, &c. Combien on doit alonger ou accourcir le pendule pour faire avancer ou retarder l'horloge d'une quantité donnée en vingt-quatre heures, II. n. 1712, *& ſuiv.* Les horloges qui ont de longs ou de courts pendules avancent ou retardent des mêmes quantités par les mêmes degrés de température, n. 1717.

Horlogerie: ſon utilité pour la Marine, II. n. 2058 & 2067. Comment on peut apprétier les nouvelles découvertes d'Horlogerie, I. n. 669.

Huiles : leur effet pour diminuer les frottements, II. n. 1859. Le frottement change par l'épaiſſiſſement des huiles, n. 1861. Les huiles ſont plus ou moins mobiles, ſelon qu'il fait chaud ou froid, ce qui change le frottement, n. 1864. La force perdue par un balancier, lorſque l'huile des pivots eſt épaiſſie par le froid, ſera dans un rapport d'autant plus grand avec la force de mouvement du balancier que ce balancier aura une petite quantité de mouvement, II. n. 1865. Dans les Montres d'un mois, les changements de frottements cauſent de plus grands écarts que dans celles qui vont 24 heures, n. 1866. Les

huiles coagulées ne cauſent pas les mêmes écarts dans toutes ſortes de Montres, n. 1898 *& ſuiv.*

Hulot (M.), Machiniſte, I. n. 444, 488.

Huyghens, Diſcours préliminaire, *page* xxix. II. n. 1517, 1808.

I

Jeu, ſe dit d'une piece qui ſe meut librement.

Inclinaiſon des dents de roue de rencontre, doit être de vingt-cinq degrés & non de vingt, ainſi que je l'ai dit, I. n. 420.

Inégalité des révolutions du Soleil, I. n. 5.

Inertie, deff. note de l'article 124. I. P.

Inſtrument des paſſages, I. n. 391.

Jour aſtronomique, I. n. 3.

Jour, intervalle entre deux roues, &c. I. n. 828.

Iſochrones, (oſcillations), I. n. 37. On peut parvenir à rendre l'échappement à roue de rencontre ſenſiblement iſochrone, I. n. 559.

L

Latitude d'un lieu, ce que c'eſt, II. n. 2059. Son uſage, 2060. On la détermine facilement en mer, 2061.

Lardon, piece attachée à la potence d'une Montre à roue de rencontre, I. n. 164.

Lentille : poids que l'on attache au bas du pendule ; on le rend angulaire pour qu'il éprouve une moindre réſiſtance de l'air : une lentille trop peſante augmente le frottement de la ſuſpenſion, en ſorte que le pendule ne la meut pas plus longtemps qu'avec une lentille légere, II. n. 1589, 1590. Une lentille trop peſante dans un pendule compoſé affaiſſe la verge & empêche la compenſation, II. n. 1733 & 1734. dans un pendule à ſimple verge, n. 2263. Pourquoi doit être ſuſpendue par ſon centre, II. n. 2015.

Le Paute, (M.) Horloger, Diſcours préliminaire, *page* xxxiv.

Levée, arc de levée de l'échappement. Ce n'eſt pas la levée qui trouble l'oſcillation du balancier, mais c'eſt la traînée ſur le repos ou le trop grand recul, II. n. 1932. Plus l'arc de levée ſera grand & celui de ſupplément petit, moins l'oſcillation ſera troublée par l'inégalité du moteur, II. n. 2267.

Levier : on appelle en général levier, un bras qui ſert à faire mouvoir une pieçe.

Levier : ſa définition, II. n. 1403. Loix de l'équilibre, n. 1405.

Levier : outil qui ſert à meſurer la force des reſſorts, I. n. 508.

Levier de compenſation, II. n. 1751.

Limaçon : piece d'une répétition, I. n. 108. Limaçon des quarts, n. 109. Comment tailler le limaçon des heures dans une Pendule, I. n. 1129. Celui des quarts, n. 1119.

Lime à fendre, I. n. 867, à effilanquer, I. n. 871. à arrondir, n. 874, de fer pour polir, n. 900.

Longitude : ce que c'eſt, II. n. 2063. Moyens que l'on peut employer pour la découverte des longitudes en mer, 1°, le *Loch*, n. 2071. 2°, La déclinaiſon de la lune, n. 2073. 3°, Les ſatellites de Jupiter, n. 2074 & 2075. 4°, Une Horloge, n. 2076. Enfin la déclinaiſon de l'aiguille aimantée,

M

Machine à centrer les roues pour les fendre ennarbrées, I. n. 447.

Machine à fendre les roues de Pendules & de Montres. Sa deſcription, I. n. 428, à fendre les roues de Montres ; roues de rencontre ; à cylindre, &c. II. n. 2304.

Machine à fuſée, ſa deſcription, I. n. 455.

Machine propre à faire des expériences ſur les ſuſpenſions & les réſiſtances du pendule libre dans l'air, II. n. 1545. Pour faire des expériences ſur les effets des échappements, II. n. 1639.

Main, outil, II. n. 1922.

Maître-danſe, outil, I. n. 485.

Mandrin, I, n. 806.

Marcher en blanc (faire), I. n. 1356.

Mercure : ſa dilatation, II. n. 1696.

Métaux, ſe dilatent par la chaleur, & ſe contractent par le froid, ſelon toutes leurs dimenſions, II. n. 1699.

Midi, I, n. 3.

Minute, ſoixantieme partie d'une heure, I. n. 4.

Minuteries,

Minuteries, I. n. 145. II. n. 2403, 2482.

Montre, Horloge portative : premieres notions des principales parties de cette machine, I. n. 124. *& ſuiv.*

Deſcription d'une Montre ordinaire à roue de rencontre, n. 155. D'une Montre à répétition & à cylindre, n. 176. D'une Montre à réveil, n. 200. à trois parties, n. 541. D'une Montre à équation ſimple, n. 257. D'une répétition & équation à ſecondes concentriques allant huit jours, n. 300. Utilité des Montres à équation, n. 356. Deſcription d'une Montre à huit jours à deux balanciers, II. n. 1996. D'une Montre à ſecondes concentrique, qui fait deux vibrations par ſeconde, aiguille portée par une roue de l'intérieur du mouvement, enſorte que les battements ſont nets, & l'addition des ſecondes réduite au moindre frottement, II. n. 1991. Principes ſur les Montres, *voyez* Balancier, Frottement, Compenſation, Huile, &c, & ce qui ſuit. Les Montres à roue de rencontre à vibrations lentes, ſont ſujettes au battement de la cheville de balancier contre la couliſſe quand on les porte, I. n. 565. Les Montres à roue de rencontre doivent aller en retardant à cauſe de l'épaiſſiſſement des huiles, II. n. 1897. Les Montres à roue de rencontre préférables à celles à cylindre, II. n. 1902, 2363. Pourquoi les Montres d'un mois ne peuvent aller auſſi juſte que celles de trente heures, II. n. 1865, 2280. Trouver la peſanteur du balancier pour une Montre d'un mois, n. 1971. de celle à huit jours, pour que le poids du balancier ſoit en rapport convenable avec le moteur, n. 1967. Montre à demi-ſecondes avec l'échappement à cylindre ; ſes dimenſions, II. n. 2284 *& ſuiv.* La force que le moteur tranſmet à la circonférence de la roue d'échappement, n. 2293. Expériences faites ſur des Montres à roues de rencontre, pour prouver les principes que j'ai établis pour parvenir à la compenſation du chaud & du froid dans les Montres, II. n. 1908, 1917. Expériences faites ſur les Montres à cylindre, pour prouver le principe de la compenſation, n. 1904 *&* 1919. Pourquoi une Montre nouvellement faite doit avancer par la chaleur, n. 1920. De quelques ſoins de conſtruction & d'exécution d'une Montre, I. n. 550. ſur le balancier, n. 551. ſa main-d'œuvre, n. 556. La matiere que l'on doit employer : le cuivre préférable à l'acier, & l'or au cuivre, n. 557. De l'échappement, n. 558. Du rouage, n. 568. De quelques cauſes qui font arrêter & varier des Montres, n. 578.

Montre : de la conſtruction & de l'exécution d'une Montre dans laquelle on raſſemble tout ce qui peut contribuer à ſa juſteſſe, II. n. 2361. Pourquoi je la préfere à roue de rencontre, n. 2363 *& ſuiv.* Pourquoi on la fait grande, n. 2366. Obſervations préliminaires pour ſervir à la conſtruction de la Montre, & tracer le calibre, n. 2367. De la juſteſſe d'une Montre, dequoi dépend, n. 2368. Des frottements, n. 2369. Il faut que le balancier ait une grande quantité de mouvement pour diminuer le rapport des frottements du rouage, n. 2371. Augmenter les ſurfaces frottantes à proportion des preſſions, n. 2372. Que la preſſion ſe faſſe à égale diſtance des pivots, afin de réduire le frottement ; pratiquer des réſervoirs, n. 2374. N'employer pas des vibrations trop lentes, n. 2375. Du balancier, n. 2377. Du calibre, n. 2379. Nombres à mettre aux roues lorſque l'on fait la Montre ſans ſecondes, n. 2385. Quand elle eſt à ſecondes, n. 2386. Deſcription de la Montre, n. 2409 *& ſuiv. Détails de pratique* : Dimenſions ſur leſquelles on doit ſe régler pour l'exécution, II. n. 2436 *& ſuiv.* Faire les platines, le reſſort de cadran, & monter la cage, n. 2446. Faire les roues, n. 2457. le pignon de grande roue moyenne, & le mettre en cage, n. 2461 *& ſuiv.* L'arbre & la fuſée, la mettre en cage, n. 2464 *& ſuiv.* Faire le barillet & le mettre en cage, n. 2467 *& ſuiv.* Faire la potence, n. 2470. le garde-chaîne, 2471. Faire le deſſus de platine, n. 2472 *& ſuiv.* Faire les minuteries, n. 2483 *& ſuiv.* Faire les pignons de petite roue moyenne & de champ, n. 2485.

Montre (du finiſſage de la) : faire faire le cadran, l'ajuſter, n. 2486. Mettre libres les platines & les bien dreſſer, n. 2487. Achever de mettre la grande moyenne en cage, n. 2488. Faire l'engrenage de la roue de fuſée, n. 2491 *& ſuiv.* Tailler la fuſée, &

faire exécuter le reſſort moteur, n. 2497 *& ſuiv.* Faire les engrenages de roue de cadran & ajuſter les aiguilles, n. 2502. Achever l'engrenage de la grande roue moyenne, n. 2503.

De l'exécution de l'échappement : faire le balancier, n. 2505 *& ſuiv.* Faire la verge de balancier, n. 2509 *& ſuiv* Mettre le balancier en cage, n. 2513. Faire la roue de rencontre & la mettre en cage, n. 2519 *& ſuiv.* Faire l'engrenage de champ, n. 2526. celui de petite roue moyenne, n. 2527. Fendre la roue de rencontre & finir les dents, n. 2528. l'égaliſer, n. 2529. Faire l'échappement, n. 2530 *& ſuiv.* Placer la cheville de renverſement, n. 2534. Reculer la couliſſe pour empêcher le battement de la cheville de balancier & le renverſement, n. 2535. Faire le piton de ſpiral, n. 2537, la virole de ſpiral, n. 2538. Poſer les chevilles du rateau pour le ſpiral, n. 2539. Poſer des chevilles à la platine pour borner le chemin du rateau & de l'aiguille de roſette, n. 2540. Adoucir les pieces de cuivre pour les dorer, n. 2544 *& ſuiv.* Mettre les pieces libres après la dorure, n. 2551 *& ſuiv.* Comment on doit éprouver ſi le balancier eſt dans le rapport convenable avec le moteur, n. 2558. Remonter le mouvement pour faire cette épreuve, n. 2559. Ajuſter le ſpiral, régler la Montre & faire l'épreuve par les différentes températures, ce qui détermine le rapport du moteur au régulateur, frottement, &c. n. 2560. Régler la Montre du plat au pendu, 2561.

Pourquoi les Montres qui ont peu de force de mouvement, ſont plus ſujettes à varier, II. n. 1623. 1867, 2280. Les variations des Montres ſont plus ou moins grandes, ſelon le rapport des frottements à la force de mouvement, 1893. Les Montres ſont ſuſceptibles de grands écarts par le froid & le chaud, n. 1894. La juſteſſe des Montres dépend du rapport entre le régulateur & le moteur, II. n. 1891, 2277, 2297. Les Montres de mêmes dimenſions peuvent varier par la différence des matieres dont elles ſont faites, 2295.

Moteur, ce que c'eſt, I. n. 42. Comment on peut parvenir à rendre conſtante la force qu'il tranſmet au balancier, II. n. 2282.

Muſchenbroek ; ſes expériences ſur les dilatations des métaux, II. n. 1663. Ses expériences ſur les frottements, n. 1852.

N

Nombres : comment trouver le nombre des dents des rouages, II. n. 1477. Trouver le nombre de dents à mettre au rateau, I. n. 344. à mettre à un rochet d'échappement, II. n. 1450. à mettre au rouage d'une Pendule d'équation, pour que la roue annuelle faſſe ſa révolution en 365 jours 5 heures 49 minutes, I. n. 237.

O

Obſerver : uſage de la ſonnerie des ſecondes de mes Horloges aſtronomiques, pour obſerver le paſſage d'une étoile, &c. par le méridien, I. n. 393.

Or : ſa dilatation, II. n. 1696. eſt préférable au cuivre & à l'acier pour faire des balanciers, I. n. 557.

Oſcillation, I. n. 22. Les oſcillations libres d'un balancier ne peuvent être iſochrones, II. n. 1816. Comment on pourroit y parvenir avec un échappement, n. 1929, 1932, 1934.

Outil d'engrenage, I. n. 515. Outil à mettre les balanciers d'équilibre, I. n. 480. à placer les roues droites en cage, n. 504. à égaliſer très-parfaitement les roues de rencontre, II. n. 2355. Maniere de s'en ſervir, n. 2358 *& ſuiv.* Outil à tailler les fraiſes pour exécuter les roues de cylindre, II. n. 2341. Outil à renouer les chaînes, I. n. 483. à reſſerrer les chauſſées de Montres, n. 481.

P

Palette, petit levier porté par l'axe du balancier dans les Montres à roue de rencontre, I. n. 125.

Parallele, deux lignes également diſtantes entr'elles dans toute leur longueur.

Pendule, (Horloge à) I. n. 43. Pendule à ſecondes & à ſonnerie, I. n. 59 *& ſuiv.* Pendule d'équation à deux aiguilles des minutes concentriques, I. n. 217.

Autre ſorte d'équation à deux aiguilles, n. 265. Pendule d'équation à cercle mobile, n. 238. Pendule d'équation à deux aiguilles & deux cadrans, n. 281. qui ne marque que le temps vrai, n. 285. Pendule d'équation du Pere Alexandre, I. n. 290. Pendules d'équation; Comment on doit former les courbes ou ellipſes, I. n. 330 *& ſuiv.* à répétition, I. n. 110. Pendule à ſonnerie d'un an, I. n. 93.

Pendule compoſé : j'appelle en général pendule compoſé celui dont la verge eſt faite de deux ou pluſieurs barres qui ont pour objet la compenſation du chaud & du froid. Deſcription du premier pendule compoſé que j'ai conſtruit, II. n. 1721. Calcul pour en déterminer les dimenſions, n. 1725 *& ſuiv.* Expérience faite avec ce pendule, n. 1733. Pendule compoſé de deux verges, n. 1735. Ses défauts, n. 1741. Pendule de M. Rivaz, à canon de compoſition métallique, n. 1742. Deſcription & calcul d'un autre pendule compoſé que j'ai conſtruit, n. 1754 *& ſuiv.* Autre conſtruction & calcul de pendule compoſé, n. 1759. Deſcription d'un pendule compoſé à chaſſis, n. 1761. Calcul pour en trouver les dimenſions, n. 1762 *& ſuiv.* Expériences faites ſur ce pendule, n. 2010, 2014. Du degré de perfection où je l'ai porté, n. 2017, & 2019. Expériences faites ſur un ſecond pendule à chaſſis que j'ai exécuté, n. 2251. Les verges ne ſont pas aſſez longues, ce qui eſt produit par la différente dilatabilité du fer & du cuivre, n. 2252. La lentille eſt trop peſante, ou, ce qui revient au même, les verges trop foibles, n. 2253. Pendule compoſé de trois verges, deux d'acier & une de cuivre & un levier de compenſation. Comment on peut conſtruire ce pendule pour que la compenſation ait lieu, n. 2255. Dimenſions de ce pendule, n. 2257. Thermometre mis en action par la dilatation & contraction des verges de ce pendule. n. 2261.

Pendule libre, définition, II. n. 1566. Expériences ſur le pendule libre, qui prouvent que la lentille de même poids qu'une boule éprouve une moindre réſiſtance de l'air, n. 1568, &c. Du calcul de la force requiſe pour entretenir le pendule, dont la lentille peſe 21 liv. lorſqu'il décrit des arcs de dix degrés, n. 1591. Quand le même pendule décrit un degré, n. 1596. Comparaiſon de ces forces, n. 1598. Le pendule, quand il décrit dix degrés, exige 157 fois plus de force que lorſqu'il décrit un degré, n. 1599. Qu'il eſt néceſſaire de proportionner la force motrice à la perte de mouvement du pendule, n. 1600, 1604 & 1605. Comparaiſon des forces de mouvement d'un pendule qui décrit de grands ou petits arcs; préférence des petits arcs, n. 1601. Calcul de la force pour entretenir le mouvement du même pendule, lorſqu'il décrit des arcs d'un quart de degré, n. 1603. De la force requiſe pour entretenir le mouvement du pendule qui décrit dix degrés, lorſque la lentille peſe ſept livres cinq onces, n. 1608. Cette force eſt plus grande relativement à la quantité de mouvement du pendule, que n'eſt la force requiſe pour entretenir la lentille peſante, 1608. On tire de-là une regle générale pour les régulateurs quelconques, n. 1610. Comparaiſon d'un pendule peſant 63 liv. avec celui de 21 liv. n. 1616. Comparaiſon de la force de mouvement du pendule à ſecondes avec celui à demi-ſecondes, n. 1612. Des obſtacles qui réſultent des trop petits arcs, n. 1622. Les oſcillations du pendule libre ſont troublées par l'échappement, & différemment ſelon la nature de l'échappement, n. 1625.

Pendule : régulateur des horloges, I. n. 21. Pourquoi ne peut être employé aux machines portatives, n. 55.

Pendule ſimple : définition, II. n. 1517. M. Huyghens en a démontré le premier les loix. Diſcours prélimin. *p.* xxix.

Loix du pendule ſimple, n. 1518, 1519 *& ſuiv.* Problême dont on s'eſt ſervi pour le calcul de la table des longueurs des pendules, n. 1526. Propriétés du pendule, n. 1533, &c. Comment la force du pendule augmente, n. 1558. Sa réſiſtance dans l'air, n. 1560, 1561, 1562, &c.

Pendule à pirouette, Diſcours préliminaire, *p.* xxix.

Percer un canon ſur le tour, I. n. 910.

Peſanteur : propriété qu'ont tous les corps de tendre au centre de la terre.

Piece des quarts, I. n. 186.

Pieds ou *Tenons*, I. n. 958.

Pied de balancier, outil, I. n. 480.

Pied de biche, détente briſée, I. n. 102.

Pignon, petite roue dentée : on fait ordinairement les pignons d'acier & pris ſur l'axe même de la roue, I. n. 29. Comment trouver la groſſeur des pignons, I. n. 522. Ces groſſeurs varient, n. 538. Les pignons doivent avoir plus de vuide que de plein, n. 871.

Piliers, montants qui ſervent à aſſembler deux plaques pour former une cage. I. n. 35, 740.

Pince à ſpiral, outil, I. n. 513.

Piton, I. n. 166. II. n. 2537.

Pivots, bout des axes, ou aiſſieu, ils ſont ronds pour faciliter le mouvement, & plus petits que l'axe pour diminuer le frottement, I. n. 35. La ſurface des pivots doit être proportionnelle à la preſſion qu'ils reçoivent, I. n. 555, 941, II. n. 1863. Comment déterminer leurs groſſeurs, I. n. 571. De l'exécution des pivots, n. 903 *& ſuiv.* Pivot de chauſſée, n. 909. Sur les groſſeurs de pivots de balancier dans les Montres, pour que la compenſation du chaud & du froid ait lieu, II. n. 2276 *& ſuiv.* Dans les Montres qui ont peu de force de mouvement, les pivots de rouage n'étant pas diminués proportionnellement à la diminution de la force, cauſent de plus grands frottements, enſorte qu'il en réſulte des écarts, II. n. 2280 ; comment réduire le frottement des pivots, n. 2299, 2373. Une Montre eſt ſuſceptible de plus ou moins de juſteſſe ſelon les diametres des pivots, 2272. Pivots de balancier : comment éviter qu'ils ne caſſent par une chûte de la Montre, & comment réparer cet accident, n. 2393. Pour fixer les diametres des pivots, il faut recourir à l'expérience, 2283. Les frottements des pivots de balancier cauſent la plus grande juſteſſe des Montres, lorſqu'ils ſont en rapport convenable, n. 2294. *Voyez auſſi* Compenſation.

Planer, durcir au marteau, I. n. 729.

Planiſpheres, Diſcours préliminaire, *p.* xxxiij.

Plat & pendu : les Ouvriers appellent ainſi la poſition horizontale & verticale d'une Montre. Quand une Montre eſt réglée dans ces deux ſituations, on dit qu'elle eſt réglée *plate & pendue*. Comment on regle une Montre plate & pendue, II. n. 1915.

Platines ; plaques qui ſervent à former une cage avec quatre piliers ; comment exécuter les platines, I. n. 728 *& ſuiv.*

Plate-forme, I. n. 430. Les nombres de diviſions qu'il faut marquer deſſus. *Voyez* après la Table des Planches, *p.* 450.

Plomb ; ſa dilatation, II. n. 1696.

Poids, moteur ; ſon action eſt la même de quelle hauteur qu'il agiſſe, I. n. 33. Sa diſtribution pour doubler le temps de la marche de l'horloge, II. n. 1783. Le poids mis en mouvement par l'air réfléchi du pendule fait arrêter l'horloge, I. n. 642. Le poids ne peut être employé pour moteur d'une Montre, I. n. 56.

Pointes d'un axe ; comment il faut les former pour qu'elles ſoient rondes, I. n. 819. Celles d'un pignon, après qu'il eſt dreſſé, I. n. 891.

Pointeau à river, I. n. 915. Autre pointeau, n. 742.

Polir les ailes d'un pignon, I. n. 893. Dreſſer la face & la polir, n. 898. les tiges, n. 933. le mouvement de l'horloge, I. n. 1382.

Ponts ou barrettes ; leur uſage, n. 2299.

Portée ; petite largeur qui termine le pivot, afin que l'axe ne faſſe que tourner ſur lui-même ſans ſe mouvoir, ſelon ſa longueur : largeur de ces portées, I. n. 944.

Porte-fraiſe ; partie d'une machine à fendre : on l'appelle auſſi l'H. I. n. 436.

Potence, piece d'une montre, I. n. 146.

Pouſſoir d'une répétition, I. n. 184.

Pyrometre : machine pour meſurer les dilatations & contractions des métaux, II. n. 1663. Deſcription du pyrometre que j'ai compoſé, II. n. 1671.

Q

Quantité de mouvement : voyez *Force.*

Quarré de l'arbre ; comment le faire, I. n. 832, 1040.

R

Rateau : portion de roue dentée, I. n. 108. Comment le diviſer, I. n. 1093, 344.

Rateau de ſpiral, I. n. 166. II. n 2475.

Reboucher un trou ; comment cela ſe pratique, I. n. 906. d'une roue, n. 918.

Recul ; échappement à recul. *Voyez* Echappement. Très-peu de recul produit l'iſochroniſme, II. n. 1631.

Recuire, (faire) I. n. 850.

Régler une horloge aſtronomique; méthode pour cela, II. n. 2269. Régler l'horloge à répétition, I. n. 1377.

Régulateur, déſigne en général ce qui détermine la juſteſſe du mouvement d'une machine qui meſure le temps, I. n. 36. *Voyez* Balancier & Pendule. Regle ſur les régulateurs quelconques, II. n. 1610. Régulateur fait par un ſeul balancier à vibrations lentes, plus commode pour obſerver, II. n. 2003. de deux balanciers, inutile dans une Montre, II. n. 2002. Examen du régulateur avec la force motrice dans une Pendule, I. n. 1376. Il eſt très-eſſentiel dans une Montre que le régulateur ſoit dans un rapport convenable avec la force motrice ; ce rapport varie ſelon la diſtribution de la Montre, II. n. 1891 & 2272. Principes pour ſervir aux régulateurs des Montres, II. n. 1822, 1823 & 1824.

Remonter le mouvement, I. n. 1358.

Renverſement, I. n. 138. Comment le faire, II. n. 2535. dans les Montres à vibrations lentes, 2354.

Repaire : points ou marques que l'on fait à deux pieces, pour qu'à chaque fois qu'on les raſſemble, elles agiſſent l'une ſur l'autre de la même maniere, II. n. 2479.

Répétition, voyez *Horloge*, *Montre & Pendule*.

Repos, (échappement à) II. n. 1633 *& ſuiv.* Les frottements de cet échappement varient, II. n. 1932, 2267.

Réſervoirs pour l'huile des pivots, II. n. 2300, 2374, 2405, 2409, 2426.

Réſiſtance, que l'air oppoſe au mouvement des pendules ; expériences, II. n. 1576, 1577, & 1578. Avec une lentille plus légere, n. 1582, 1583, 1584. Expériences pour connoître ſi un court pendule éprouve une plus grande réſiſtance que le pendule à ſecondes, II. n. 1585. Remarque ſur cette expérience : on compare les réſiſtances du long & court pendule, & on fait voir qu'elles ſont les mêmes, & que la réſiſtance de la ſuſpenſion, lorſque la lentille eſt légere, détruit une fort petite quantité de mouvement du pendule, n. 1588. La réſiſtance de l'air dans les grands balanciers légers à vibrations promptes eſt un léger obſtacle en comparaiſon des frottements des pivots, 1832. Réſiſtances des huiles pour la compenſation doivent être proportionnelles à la quantité de mouvement du balancier, II. n. 2276.

Reſſort, ſe dit en général de tous corps, qui cedant à un effort, reſtituent la force employée à les faire fléchir. Il y a différentes ſortes de reſſorts. Propriété du reſſort, II. n. 1810. Vibrations du reſſort, n. 1811. Elles ſont iſochrones, n. 1813. On dit qu'un reſſort *ſe rend* quand il perd de ſa force.

Reſſort moteur ; la lame d'un tel reſſort doit être large, II. n. 1988. Trouver la force que doit avoir le reſſort d'une Montre pour donner le mouvement à un régulateur donné ; ce qui eſt applicable à une Montre dont le reſſort eſt caſſé, II. n. 1959.

Reſſort moteur d'une Pendule : ſon exécution ; de l'acier que l'on emploie pour les reſſorts de Pendules : maniere de forger ces reſſorts, I. n. 1256, *& ſuiv.* Forger le reſſort à froid, n. 1259. Préparation pour le tremper, n. 1265. De la trempe, n. 1267, le faire revenir, n. 1270. Planer le reſſort après la trempe, n. 1271. égaliſer la lame, n. 1272. adoucir le reſſort & le polir, 1276. le bleuir, n. 1278, plier le reſſort en ſpiral, 1281. éprouver le reſſort, n. 1292.

Reſſort de ſuſpenſion, I. n. 69. II. n. 1545 *& ſuiv.*

Réveil, (Montre à) I. n. 200.

Revenir, (faire) I. n. 834. les pignons, n. 888.

Rivaz, (M. de) célebre Méchanicien, Diſcours préliminaire, *p.* xlv.

River, rabattre de la matiere d'une piece ſur une autre pour les fixer enſemble. Rivez une roue ſur ſon pignon, I. n. 895. une roue ſur ſon aſſiette, n. 914, 915, 916.

Rochet, I. n. 34.

Romilly, (M.) Horloger, II. n. 2000.

Roſette, I. n. 169. doit être grande, n. 566. II. n. 2392.

Rouler un pivot, I. n. 938. & 939.

Rouage, I. n. 41. Trouver les révolution d'un rouage donné ſans employer le calcul des fractions, II. n. 1450. Trouver le nombre des vibrations, n. 1455 *& ſuiv.* Trouver le nombre de dents qu'il faut mettre à une roue d'échappement, lorſque la longueur du pendule eſt donnée ainſi que le reſte du rouage, II. n. 1460 *&* 1471. Trouver les révolutions du rouage par le calcul des fractions, n. 1465. Un rouage étant donné ainſi que la longueur du pendule, trouver le nombre de dents qu'il faut mettre au rochet d'échappement pour que l'horloge ſoit réglée, n. 1460, 1471.

Rouage de l'horloge à répétition, détail de pratique, I. n. 728.

Rouage à huit jours, II. n. 1474, *& ſuiv.*

Rouages, (calcul des) de la recherche des nombres de dents qu'il faut mettre aux roues & pignons d'un rouage pour produire des révolutions données, II. n. 1477 *& ſuiv.* Regle générale pour cette recherche, n. 1484 *& ſuiv.* 1495 *& ſuiv.*

Roues dentées, conſidérées comme aſſemblage de lévier, II. n. 1409. Comment les roues ſe communiquent la force, n. 1409 & 1410. Lorſqu'une roue mene un pignon par le ſimple attouchement ou par des dents infiniment petites, elle lui fait faire un nombre de révolutions qui ſont dans le rapport des circonférences, *ibid.* lorſque le nombre de révolutions que doit faire un pignon pour une de la roue eſt donné, on peut mettre ſur le pignon le nombre d'ailes que l'on veut, & ſans que la force communiquée change, pourvu que l'on proportionne le nombre des dents de la roue, II. n. 1411.

Roue annuelle, I. n. 224, 237.

Roue de champ, I. n. 141.

Roue de cadran, I. n. 67 *&* 143.

Roue de cheville : ſon exécution, II. n. 1006.

Roue de compte, I. n. 81.

Roue de longue tige, I. n. 139.

Roue de cylindre ; comment la tailler ſur l'outil, II. n. 2328. L'épaiſſeur de la dent doit augmenter à proportion de la force motrice, n. 2292, 2375.

Roue de rencontre, I. n. 136. doit avoir un nombre de dents impair, n. 421. Son exécution, II. n. 2520, 2528.

Roue de renvoi, I. n. 144.

Roue, (petite) moyenne, I. n. 140.

Roue trop haute en cage, I. n. 507.

Roy, (M. Julien le) Horloger, Diſcours préliminaire, *p.* xlv. II. n. 2426.

Roy, (M. Pierre le) Diſcours préliminaire, *p.* xlv.

S

Sautoir, piece d'une répétition, I. n. 115.

Seconde, ſoixantieme partie d'une minute, I. n. 4.

s'Graveſande, (M.) II. n. 1935.

Société d'Horlogerie : ſon utilité en France, Diſcours préliminaire, *p.* xlvij.

Soleil : cauſes de ſes variations, I. n. 12.

Solidité dans les machines, doit être relative à l'effort que chaque partie doit vaincre, I. n. 650.

Sonnerie (Horloge à) deſcription, I. n. 79. Remarque ſur les ſonneries, n. 87. Deſcription d'une ſonnerie d'un an, 93.

Sonnerie des ſecondes, que j'ajoute aux Horloges aſtronomiques. Son uſage, I. n. 392. II. n. 1792 *& ſuiv.* 2046.

Soudure, I. n. 801.

Spheres mouvantes : Diſcours préliminaire, *page* xxxiij.

Spiral : Reſſort, I. n. 151. Le reſſort ſpiral appliqué au balancier lui fait faire des vibrations qui ſe font plus vîte ou plus lentement, ſelon la force du ſpiral & la peſanteur & la viteſſe du balancier, II. n. 1815. Plus il eſt élaſtique & plus il fait faire un grand nombre de vibrations, n. 1818. L'action du chaud & du froid ſur le ſpiral changent ſa force, & par conſéquent la viteſſe des vibrations, n. 1880. Tracer le chemin du ſpiral pour que les chevilles du rateau ne le faſſent pas brider, I. n. 622. II. n. 2539.

Sully, Diſcours préliminaire, *p.* xlv. II. n. 2426.

Surpriſe. Son effet, I. n. 116, n. 1120.

Suſpenſion du pendule, II. n. 1544. Suſpenſion à reſſort, n. 1548. Celle à couteau détruit une plus petite quantité de la force du pendule, n. 1548. De l'exécution de la ſuſpenſion à couteau, n. 1549. De

l'acier que l'on doit employer, & le ſens des veines, n. 1550. De la trempe, n. 1551. Longueur du couteau relative au poids de la lentille, n. 1553. L'angle du couteau plus ou moins aigu, ſelon la peſanteur de la lentille, n. 2268. De la maniere de terminer l'angle du couteau, n. 1554. Figurer la rainure pour le couteau, n. 1555. Détails ſur la ſuſenſion à couteau, II. n. 2023 *& ſuiv.*

T

Table d'équation, à la fin de la premiere Partie : ſon uſage pour régler les ouvrages d'horlogerie, I. n. 357.

Table de l'accélération des Etoiles fixes à la ſuite des Tables d'équation, fin de la premiere Partie. Son uſage, I. n. 383.

Table des longueurs des pendules, fin de la ſeconde Partie. Son uſage, II. n. 1531, 1460.

Taraud, outil cannelé en ſpirale pour former les pas de vis dans un trou, I. n. 846.

Température : machine pour obſerver la juſteſſe des Montres par différentes températures, II. n. 1921. Ecarts que la différence de la température cauſe aux horloges à pendule, II. n. 1710.

Temps moyen, I. n. 9.

Temps vrai ou apparent, I. n. 10.

Tenons, ou pieds, I. n. 847.

Thermometre, mis en mouvement par la dilatation & contraction de la verge du pendule, dont il indique les changements, II. n. 2261.

Thermometre à aiguille, I. n. 701.

Thiout, (M.) Auteur d'un traité d'horlogerie, Diſcours préliminaire, *page* xlv.

Timbre : ajuſtement du timbre de l'Horloge à répétition, I. n. 1234.

Tirer, (faire tirer le balancier), ce que c'eſt, I. n. 609, 610. Cette opération eſt inutile, II. n. 2558.

Tour d'Horloger, propre à diviſer les pignons & à déterminer l'ouverture des cylindres d'échappement, I. n. 497.

Tour à balancier, I. n. 493.

Tout ou rien : piece de cadrature, I. n. 117.

Tranche du cylindre, I. n. 403.

Trempe, opération par laquelle on fait acquérir à l'acier toute la dureté dont il eſt ſuſceptible, I. n. 834. II. n. 1551.

Trous foncés, I. n. 1342. ſont défectueux, II. n. 2406.

V

Vendelinus, (M.) eſt le premier qui ait découvert la dilatation & contraction des Métaux, II. n. 1663.

Verge de balancier, I. n. 137. Pour éviter que l'huile ne monte à la palette d'en bas, il faut réſerver un tigeron, I. n. 626. II. n. 2517. Son exécution, II. n. 2509 *& ſuiv.*

Verges compoſées pour la compenſation ; propoſition pour ſervir à ce calcul, II. n. 1748, 1749. Pour la conſtruction de ces verges. Voyez *Pendule compoſé*. On ne doit pas faire les verges de pendule ordinaire de fil de fer, I. n 663, 1352. Verges ſimples de pendule à ſecondes, leurs dimenſions relativement au poids de la lentille, II. n. 2263. Les groſſes verges de pendule n'empêchent pas ſa dilatation & contraction, II. n. 1704. Verges de fer dorées ſe dilatent & contractent comme ſi elles ne l'étoient pas, n. 1702. Verges de bois défectueuſes, n. 1698. La dilatation & contraction des verges different ſelon la nature de l'acier, du cuivre, &c. II. n. 1732, 2252.

Verre : ſa dilatation, II. n. 1696.

Vibration, I. n. 22. La durée des vibrations du balancier varie ſelon que le froid ou la chaleur changent les frottements des pivots, II. n. 1881, 1891. Des vibrations lentes ; leur effet par le *porté*, II. n. 2001. Les vibrations lentes doivent être employées de préférence avec les échappements à repos, n. 2004. Défaut des vibrations lentes avec l'échappement à roue de rencontre, n. 2004. Les Montres à vibrations lentes de groſſeur ordinaire ne ſont pas ſuſceptibles de la même juſteſſe, n. 2005. Expériences ſur les vibrations lentes, 2006.

Virole de barillet, I. n. 791.

Vis, cylindre cannelé en ſpiral.

Vis à portée, ou à aſſiette, I. n. 844.

Vis de rappel, ſert à approcher ou à écarter deux pieces l'une de l'autre par un mouvement inſenſible, en faiſant tourner la vis.

Volant, I. n. 79.

Fin de la Table des Matieres.

TABLE DES PLANCHES

DE LA SECONDE PARTIE.

Cette Table indique le numéro du Livre dans lequel les Figures de ces Planches ſont expliquées.

PLANCHE XX, Figure 1, n°. 1403. = Fig. 2, n°. 1406. = Fig. 3, n°. 1409. = Fig. 4, n°. 1418. = Fig. 5 & 6, n°. 1430.

PLANCHE XXI, Fig. 1, n°. 1436. = Fig. 2, n°. 1439. = Fig. 3, n°. 1441. = Fig. 4, n°. 1442.

PLANCHE XXII. Fig. 1, n°. 1544. = Fig. 2, 3, 4, 5 & 6, n°. 1735 & ſuiv.

PLANCHE XXIII, Fig. 1 & 2, n°. 1639. = Fig. 3, (*I. Partie.*) n°. 1323. = Fig. 5 & 6, n°. 1933 & ſuiv. = Fig. 7, n°. 1759. = Fig. 8, n°. 1754. = Fig. 9 & 10, n°. 1742. = Fig. 12, n°. 1761.

PLANCHE XXIV, Fig. 1, n°. 1680. = Fig. 2, n°. 1671. = Fig. 3, n°. 1673. = Fig. 4, n°. 1677. = Fig. 5 & 6, n°. 1921.

PLANCHE XXV, Fig. 1, n°. 1769. = Fig. 2, n°. 1721.

PLANCHE XXVI, Fig. 1, 2, 3, 4 & 5, n°. 1782 & ſuiv. = Fig. 6, 7, 8 & 9, n°. 1776 & ſuiv.

PLANCHE XXVII, Fig. 1, 2, 3, 4 & 5, n°. 1991 & ſuiv. = Fig. 7, 8, 9 & 10, n°. 1996 & ſuiv.

PLANCHE XXVIII, Fig. 1, n°. 2015. = Fig. 2 & 4, n°. 2025, = Fig. 3, 5, 6, 7, 8 & 9, n°. 2030 & ſuiv.

PLANCHE XXIX, Fig. 1, n°. 2039. = Fig. 2, n°. 2041. = Fig. 4, n°. 2044. = Fig. 5 & 6, n°. 2046.

PLANCHE XXX, n°. 2125 & ſuiv.

PLANCHE XXXI, n°. 2133 & ſuiv.

PLANCHE XXXII, n°. 2145 & ſuiv.

PLANCHE XXXIII, Fig. 1, n°. 2154. = Fig. 2 & 3, n°. 2155. = Fig. 5, n°. 2159. = Fig. 6, n°. 2161. = Fig. 7 & 8, n°. 2162. = Fig. 9, n°. 2163. = Fig. 10, n°. 2067. = Fig. 11, no. 2060 & ſuiv.

PLANCHE XXXIV, Fig. 1, n°. 2227. = Fig. 2, n°. 2256. & ſuiv.

PLANCHE XXXV, Fig. 1, n°. 2242. = Fig. 2, n°. 2235. = Fig. 3, no. 2236. = Fig. 4, n°. 2237. = Fig. 5, n°. 2238. = Fig. 6, 7 & 8, n°. 2239. = Fig. 9, 10, 11, n°. 2240. = Fig. 12, n°. 2273.

PLANCHE XXXVI, Fig. 1, 2, 3, 4, n°. 2305 & ſuiv. = Fig. 5, n°. 2307. = Fig. 6, n°. 2324. = Fig. 7, n°. 2335. = Fig. 8, 9, n°. 2328. = Fig. 10, n°. 2322.

PLANCHE XXXVII, Fig. 1, n°. 2378. = Fig. 2, n°. 2399. = Fig. 4, n°. 2409. = Fig. 5, no. 2410. = Fig. 6, n°. 2411. = Fig. 7, n°. 2412. = Fig. 8, n°. 2413. = Fig. 9, n°. 2414. = Fig. 10, n°. 2415. = Fig. 11, n°. 2416. = Fig. 12, n°. 2418.

PLANCHE XXXVIII, Fig. 1, n°. 2419. = Fig. 2, n°. 2420. = Fig. 3, n°. 2448. = Fig. 4 & 5, n°. 2421. = Fig. 6 & 7, n°. 2422. = Fig. 8, n°. 2423. = Fig. 9 & 10, n°. 2425. = Fig. 11, n°. 2427. = Fig. 12, n°. 2428. = Fig. 13 & 14, n°. 2429. = Fig. 15, n°. 2430. = Fig. 16, n°. 2431. = Fig. 17, n°. 2432. = Fig. 18, n°. 2433. = Fig. 19, n°. 2434. = Fig. 20, n°. 2435. = Fig. 21, n°. 2481 = Fig. 23, n°. 2341. = Fig. 23, n°. 2355

TABLE des nombres de diviſions à placer ſur une plate-forme de Machine à fendre; nombre dont on fait communément uſage en Horlogerie pour fendre les Roues, graduer les Cadrans, &c.

720 pour les degrés & demi-degrés du cercle; ce nombre contient 2 fois 360, 3 fois 240, 4 fois 180, 6 fois 120, 8 fois 90, &c.

366 pour les roues annuelles à année biſſextille, il contient 2 fois 183, 6 fois 61.

365 pour les roues annuelles de 365 jours, il contient 5 fois 73.

350, il contient 2 fois 175, 5 fois 70, & 7 fois 50, &c.

300 . . . . . 2 . 150 . 4 . . 75, &c.

146 pour fendre les roues annuelles de Montres; pour graduer ces roues, on ſe ſert du nombre 365.

144. contient 2 fois 72, 4 fois 36, &c.

140 . . . . 2 . . 70 . . 4 . . 35.
126 . . . . 2 . . 63 . . 3 . . 42.
120 . . . . 2 . . 60 . . 4 . . 30.
116 . . . . 2 . . 58 . . 4 . . 29.
112 . . . . 2 . . 56 . . 4 . . 28.
110 . . . . 2 . . 55 . . . .
108 . . . . 2 . . 54 . . 4 . . 27.
104 . . . . 2 . . 52 . . 4 . . 26.
100 . . . . 2 . . 50 . . 4 . . 25.
98 . . . . 2 . . 49 . . . .
96 . . . . 2 . . 48 . . 4 . . 24.
94 . . . . 2 . . 47 . . . .
92 . . . . 2 . . 46 . . 4 . . 23.
88 . . . . 2 . . 44 . . 4 . . 22.
86 . . . . 2 . . 43 . . . .
84 . . . . 2 . . 42 . . 4 . . 21.

83. Ce nombre & le 69 ſerviront pour la révolution annuelle dont il eſt parlé *I. Partie. art.* 237.

82 . . . . 2 . . 41 . . . .
80 . . . . 2 . . 40 . . 4 . . 20.
78 . . . . 2 . . 39 . . 3 . . 26.
76 . . . . 2 . . 38 . . . .
74 . . . . 2 . . 37 . . . .
69 . . . . . .
68 . . . . 2 . . 34 . . . .
66 . . . . 2 . . 33 . . . .
64 . . . . 2 . . 32 . . . .
62 . . . . 2 . . 31 . . . .
59 . . . . . .

FAUTES A CORRIGER.

TOME PREMIER.

PLAN de l'Ouvrage, *Page* xxiv, *derniere ligne*, la poſition, *liſez*, l'Expoſition.
PREMIERE PARTIE. *Page* 21, *lig.* 12, Quadrature; *liſ.* Cadrature:
Page 37, *lig.* 10, fixés ſur la roue *L*; *liſez*, portés ſur l'axe de la roue L:
Ibidem, *lig.* 12, (*fig.* 2) *liſ.* (*fig.* 1).
Page 58, *ligne* 24, c'eſt ſur cette cheville que preſſe le reſſort 7. Pour faire frapper le marteau des quarts, le reſſort *S* eſt le ſautoir qui agit ſur l'étoile *E*; *liſez*, c'eſt ſur cette cheville que preſſe le reſſort *S* pour faire frapper le marteau des quarts; le reſſort *S* eſt le ſautoir qui agit ſur l'Etoile *E*.
Page 64, *ligne* 1, moteur; *liſez*, rouage.
Page 70, *ligne* 7, ſautoir 3, 4, *liſez*, ſautoir *S*.
Page 88, *avant dernicre ligne*, la plaque *DL*; *liſez*, la plaque *IL*.
Page 266, *ligne* 11, rendus fins; *liſez*, rendus fixes.
Page 270, *ligne* 13, Chapitre XXII; *liſez*, XXIX.
Page 316, *ligne* 20, 4°; *liſez*, 5°.
Page 439, *ligne* 6, le coq d'échappement de l'avance & retard: *liſez*, le coq d'échappement & l'avance ou retard.
Page 443; *ligne* 23, *retranchez* 1°.

TOME SECOND.

Page 5, *ligne* 6, mais les circonférences des cercles étant; *liſez*, mais les circonférences étant.
Page 11 *au titre du Chapitre IV*; *retranchez*, des conditions requiſes pour faire de bons engrenages.
Page 81, *ligne* 14, $159\frac{9}{23}$; *liſez*, $157\frac{9}{23}$.
Page 104, *ligne* 3; *retranchez le mot* auſſi.
Page, 107, *ligne* 24, la vis de preſſion *D*; *liſez*, la vis de preſſion *G*.
Page 119, *ligne* 27, 360 degrés par l'aiguille; *liſez*, 360 degrés parcourus par l'aiguille.
Page 152, *titre du Chapitre XXVI*, Du Reſſort ſpiral des; *liſez*: Du Reſſort ſpiral; des.
Page 292, *ligne* 22, cylindre *K*; *liſez*, cylindre *R*.
Page 303, *ligne* 26, Planche XXXVI; *liſez*, XXXIV.
Page 369, *ligne* 3, fig. 1; *liſez*, fig. 12.
Page 377, *ligne* 28, le bord *Aa*, auquel on; *liſez*, le bord *Aa* (Planche XXXVII, fig. 4.) auquel.
Page 389, *ligne* 2, fig. 10; *liſez*, fig. 11.
Page 392, *ligne* 2, fig. 12; *liſez*, (Planche XXXVIII, fig. 12).
Page 418, *ligne* 22, (fig. 1); *liſez*, (fig. 8.).

NOTE à ajouter à l'article 1889.

Il faut obſerver ici que cette méthode de corriger les écarts d'une Montre qui varie par le chaud & le froid, en augmentant ou diminuant la force motrice, eſt très-délicate: & qu'on n'obtiendra pas le même effet à toutes les Montres. Car ſi on a

une Montre dont les frottements de pivots de balanciers ſoient dans un petit rapport avec la force de mouvement du balancier; plus on augmentera l'étendue des arcs par une plus grande force ou moteur, & plus les réſiſtances des huiles ſeront petites; enſorte qu'une pareille Montre avancera encore plus par le froid qu'elle ne faiſoit auparavant; (& ceci eſt conforme au principe de l'article 2277): & au contraire, ſi dans une Montre dont les frottements ſont dans un grand rapport avec la force de mouvement du régulateur, on augmente la force motrice, & par conſéquent l'étendue des vibrations; alors les réſiſtances des huiles augmenteront en plus grande raiſon que la quantité de mouvement, & par ce moyen on fera retarder la Montre par le froid. Voilà donc deux effets contraires produits par l'augmentation de force motrice. J'ajoute ici ce petit éclairciſſement, pour que l'on ne croie pas que ce que je dis dans cet article (1889) eſt contradictoire au principe évident que j'établis dans les articles 2276 & 2277.

AVIS AU RELIEUR.

Les dix-neuf premieres Planches doivent être placées à la fin de la premiere Partie, immédiatement après la Table des Planches; & les Planches XX. à XXXVIII. ſe placeront à la fin de la ſeconde Partie après la Table des Planches du ſecond Volume.

De l'Imprimerie de H. L. Guerin & L. F. Delatour, rue Saint Jacques. 1763.

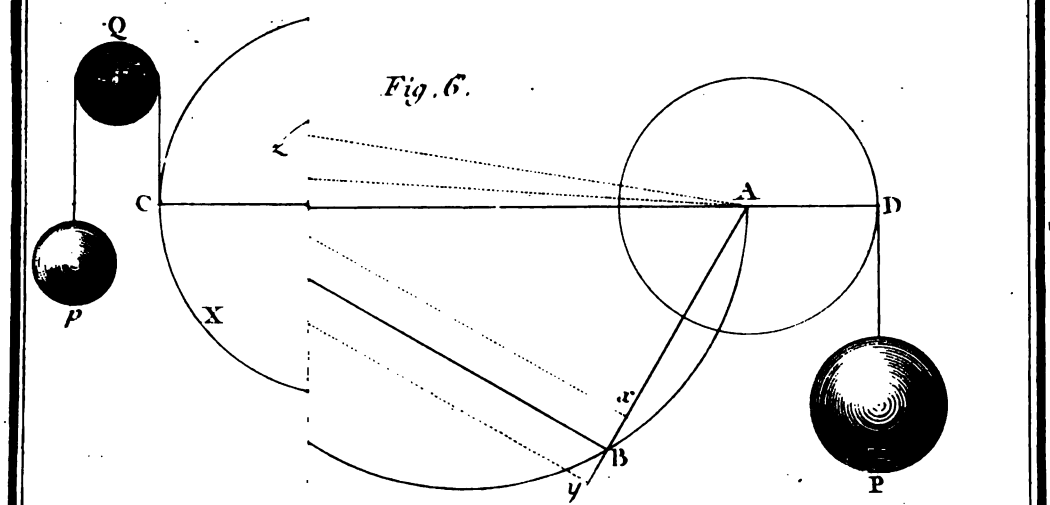


Fig. 6.

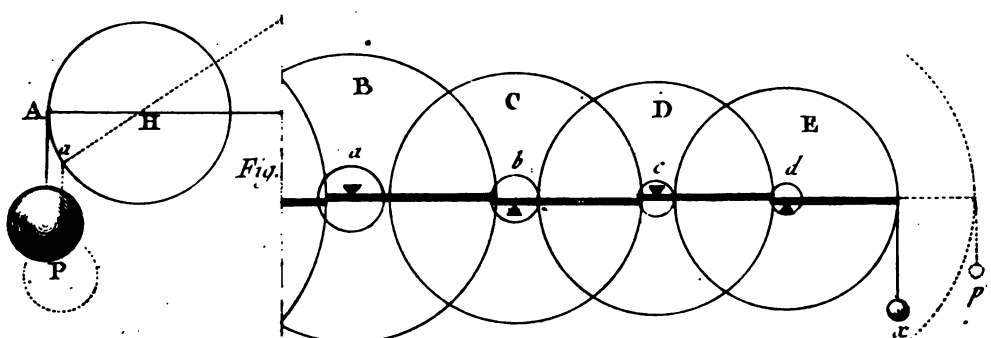
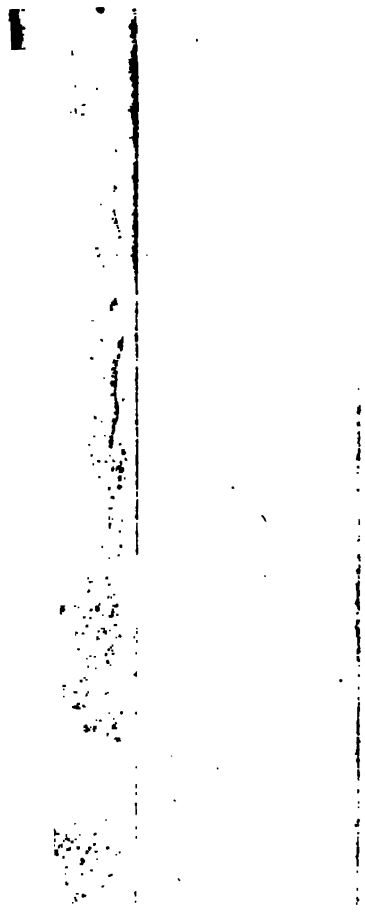


Fig. 4.

Grasset del. PE. Choffard fecit.



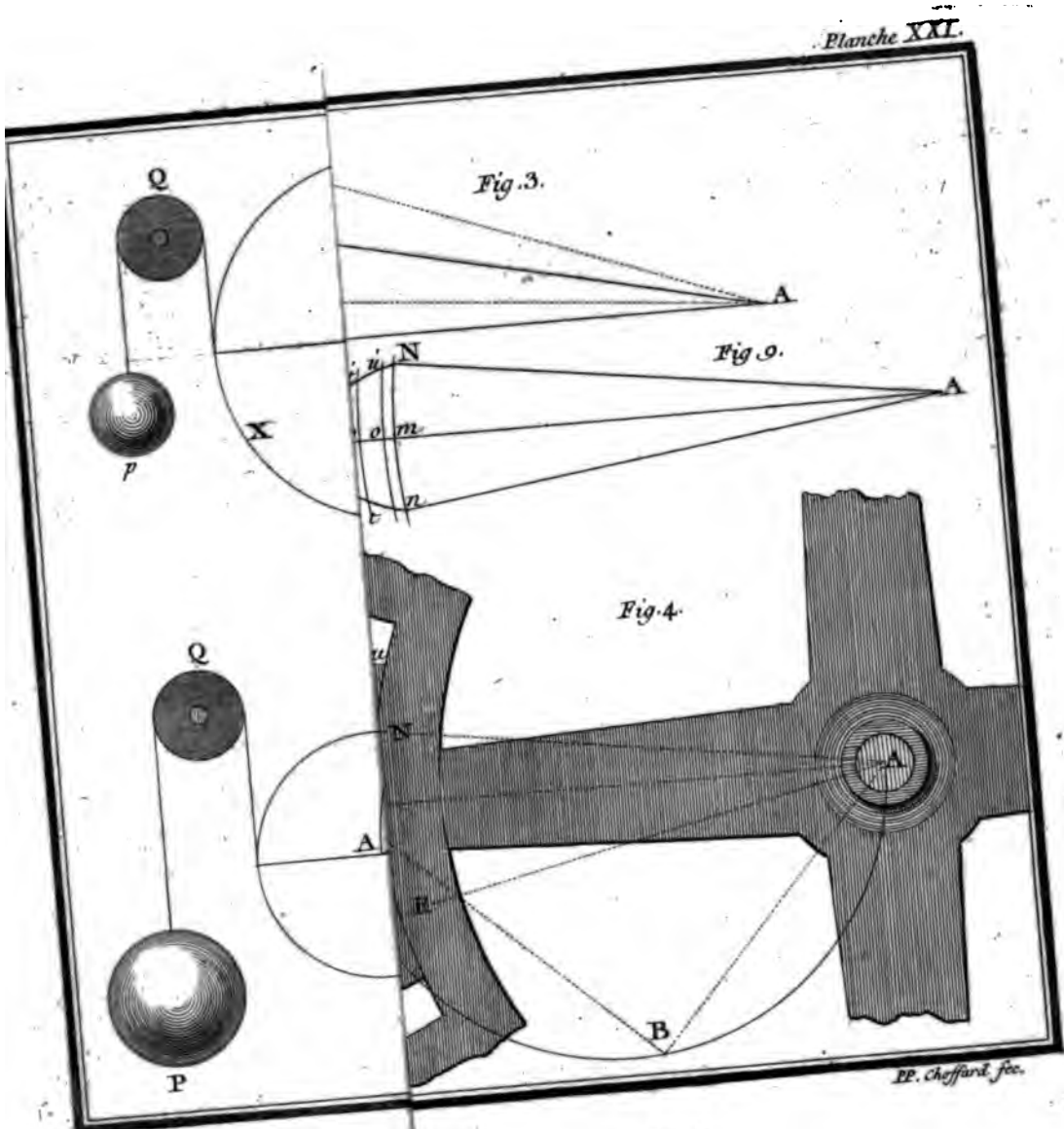
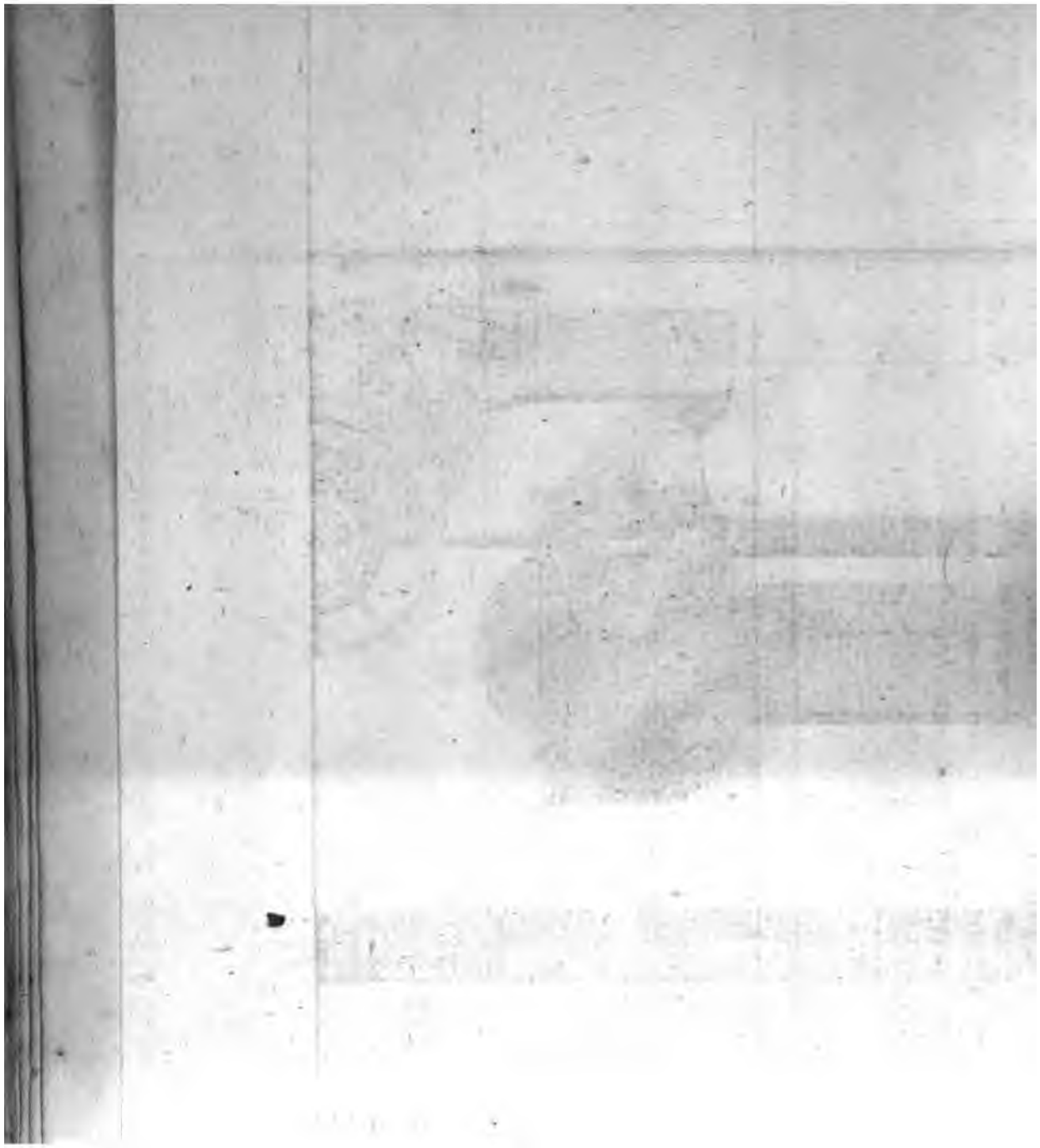
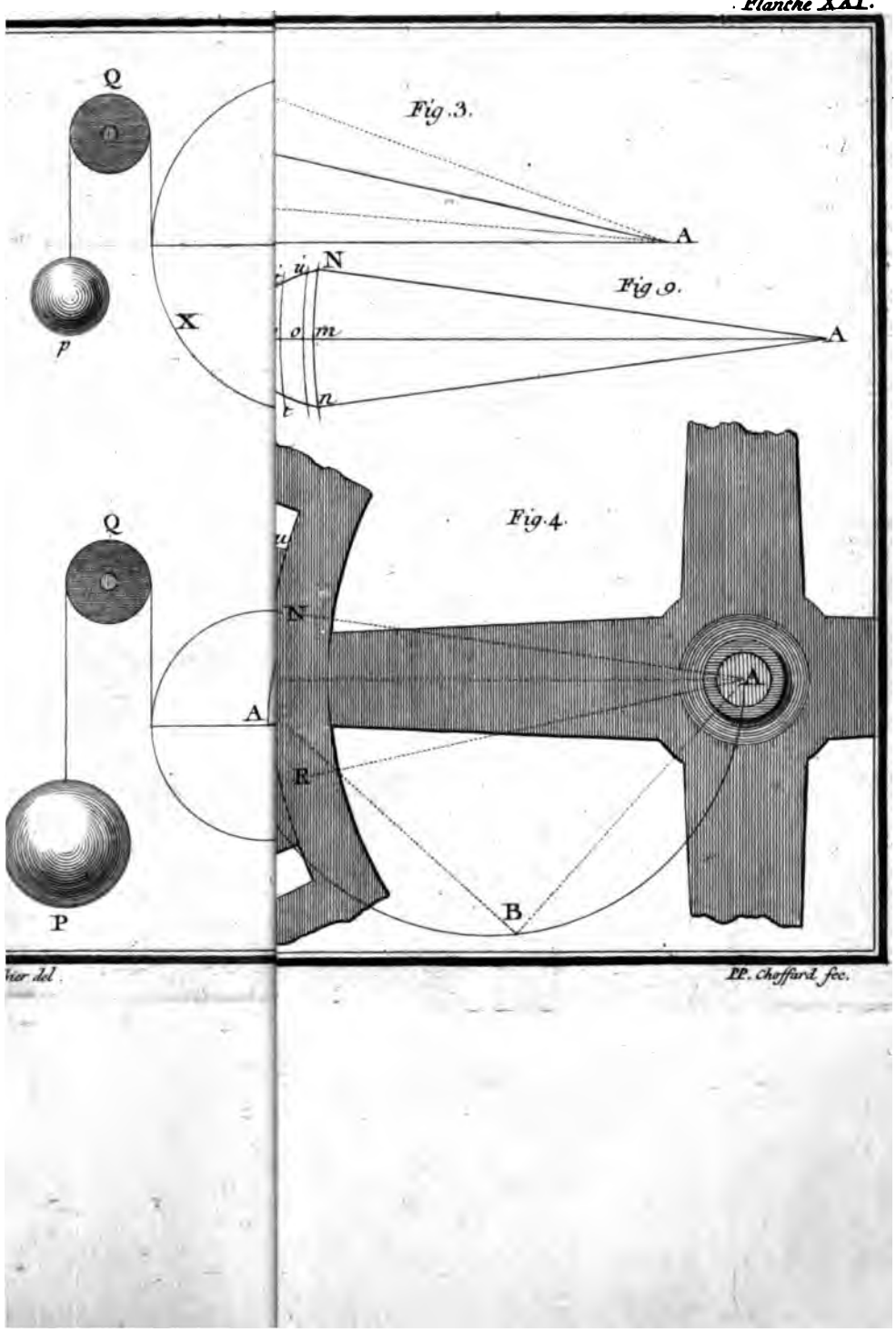


Fig.3.
Q
p
X
A
Fig.9.
N
i
o
m
n
A
Fig.4.
Q
P
N
A
B
A
B
PP. Choffard fec.
Gaultier del.





hier del.

PP. chaffard fec.

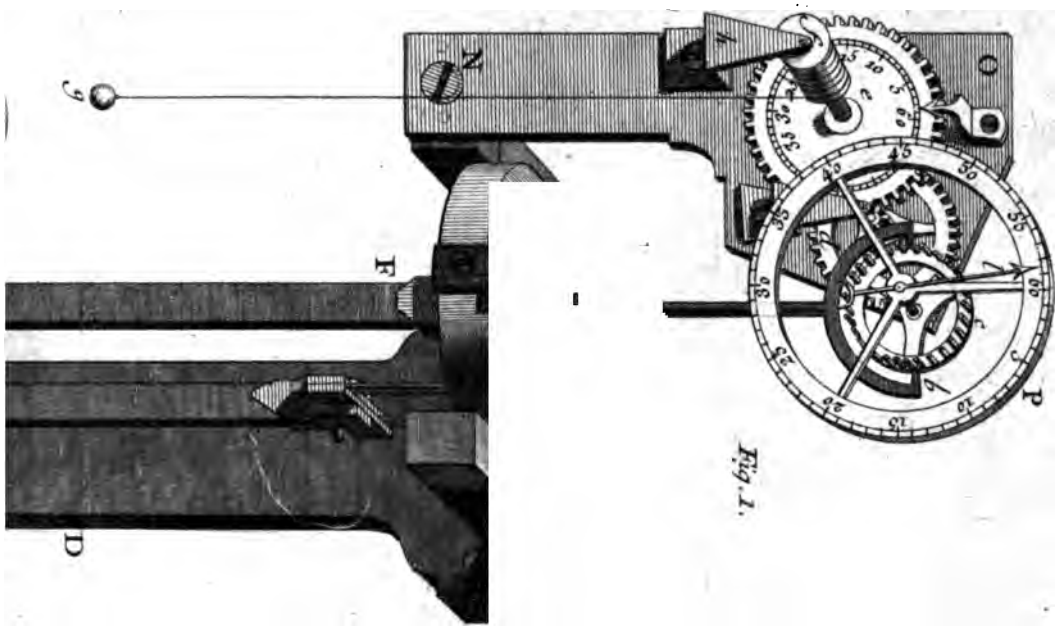
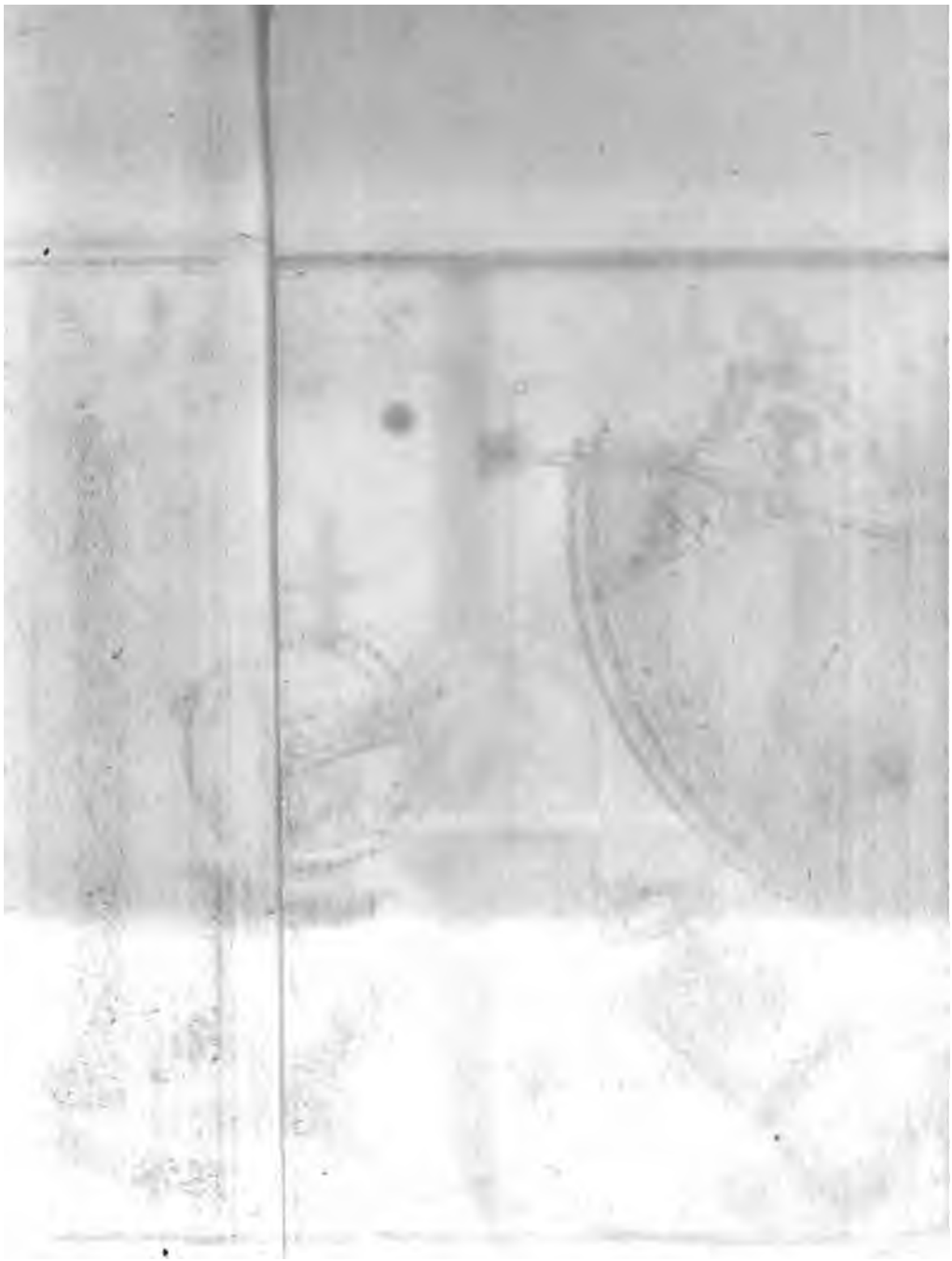
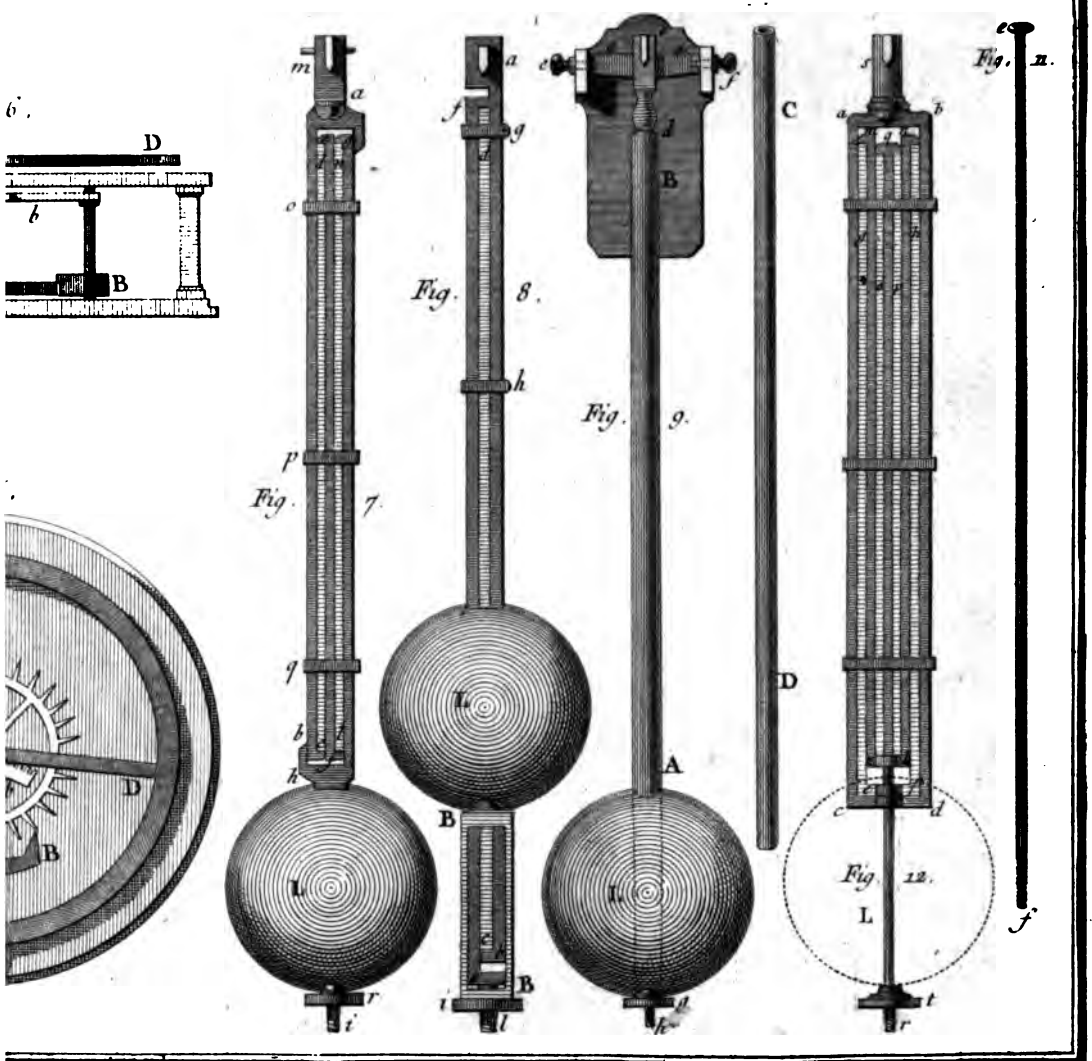


Fig. 1.

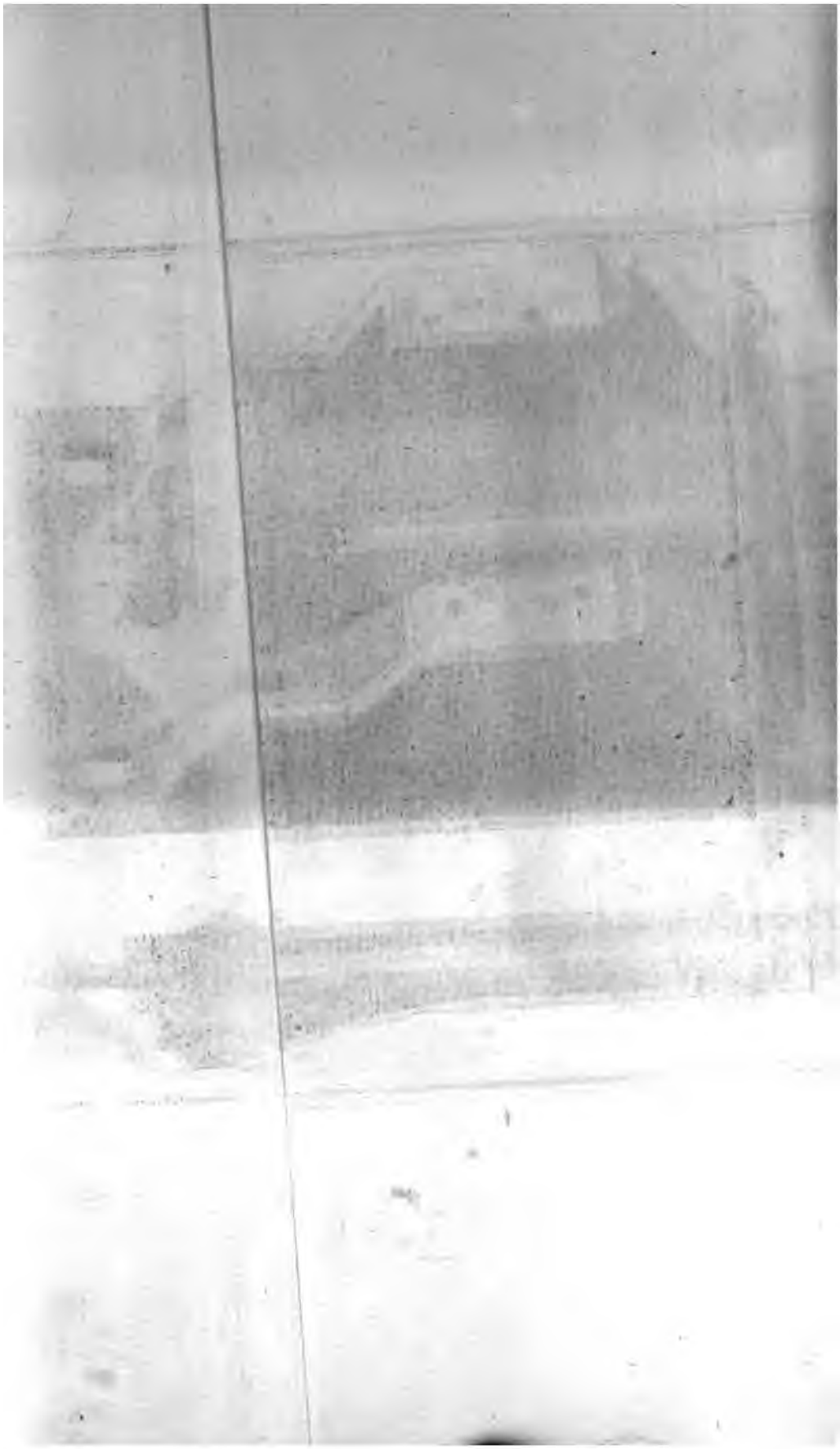
Fig. 2.

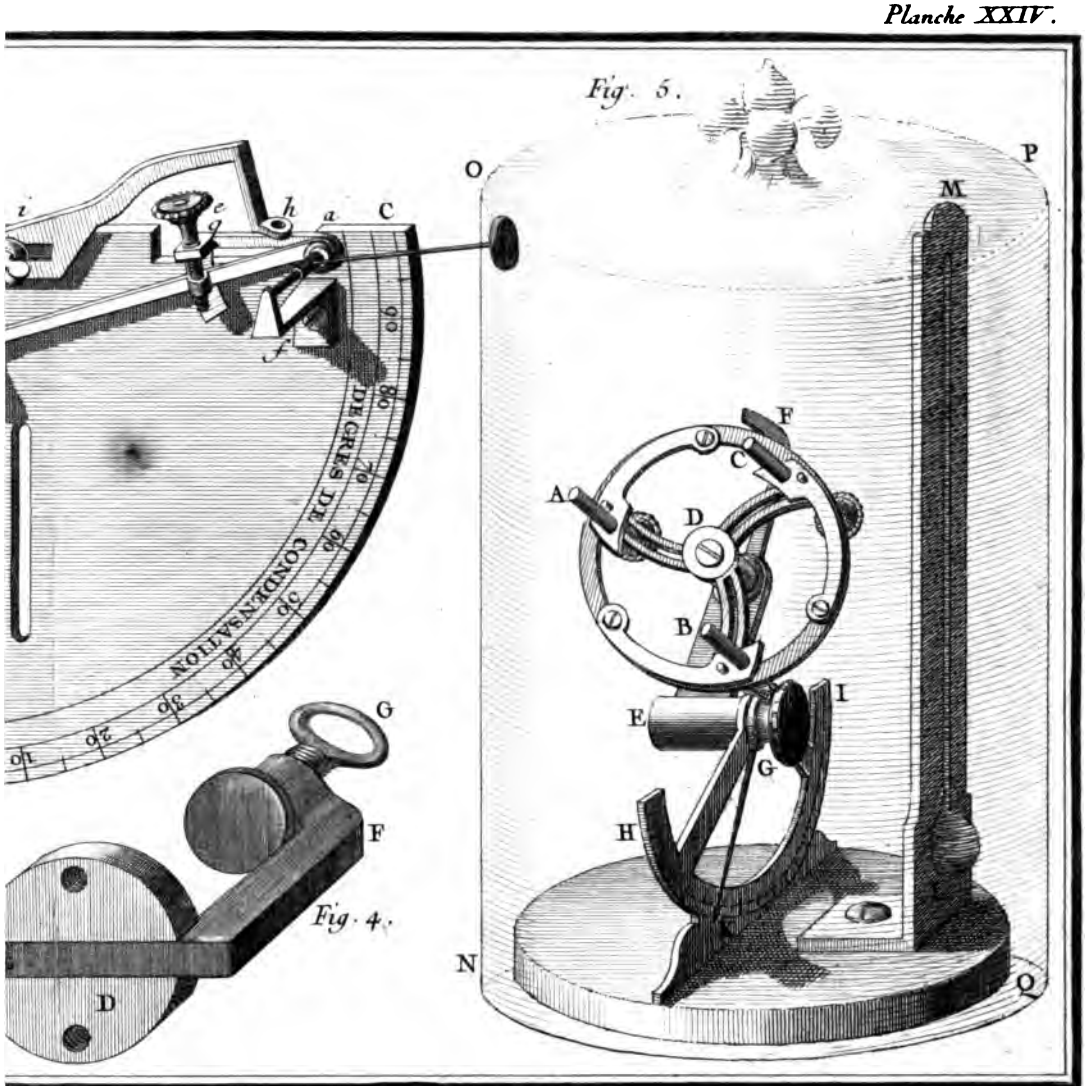
BP. Choffard Sculp.





P. Choffard Sculp.





PP. Choffard Sculp.

Planche XXV.

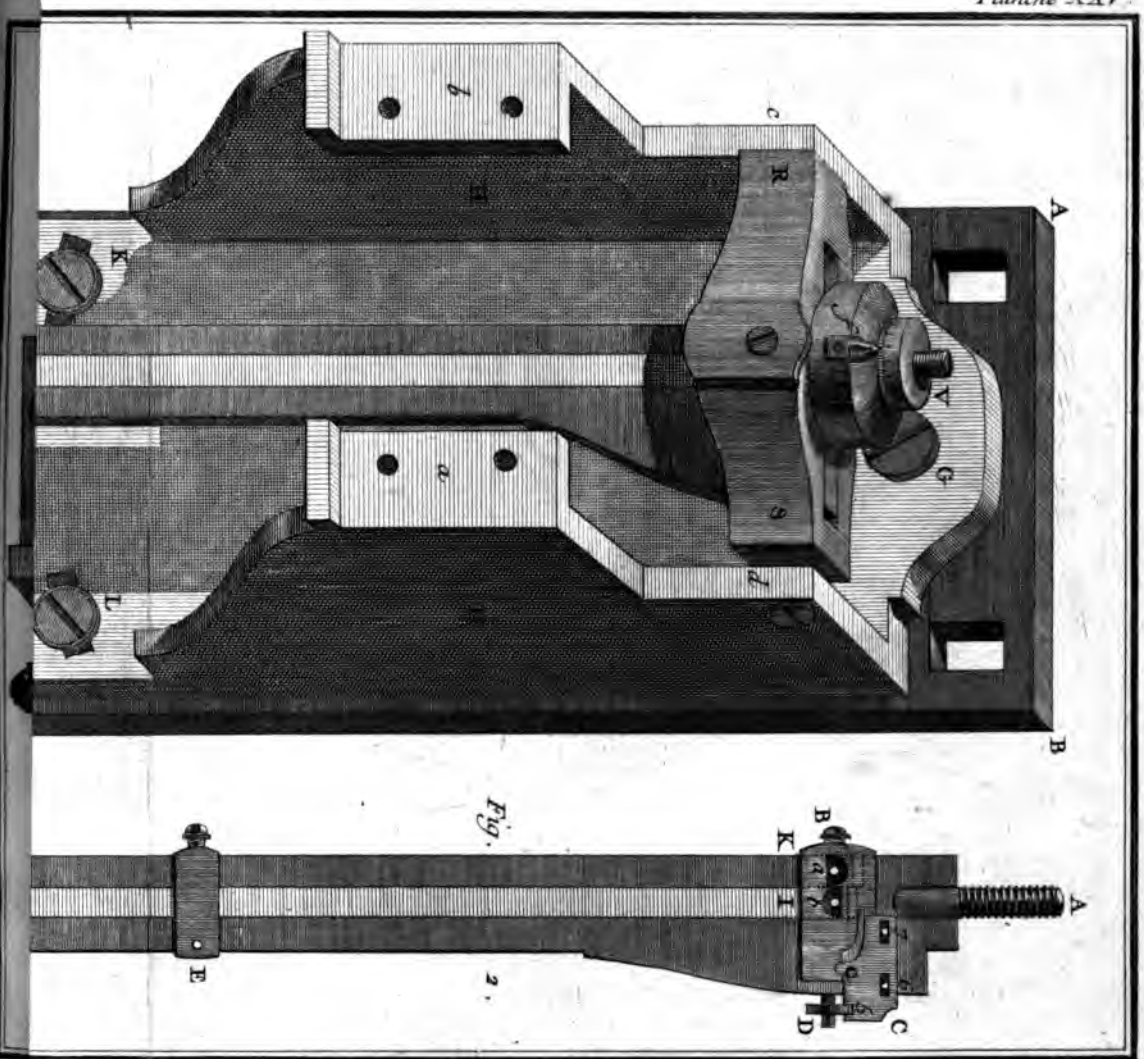
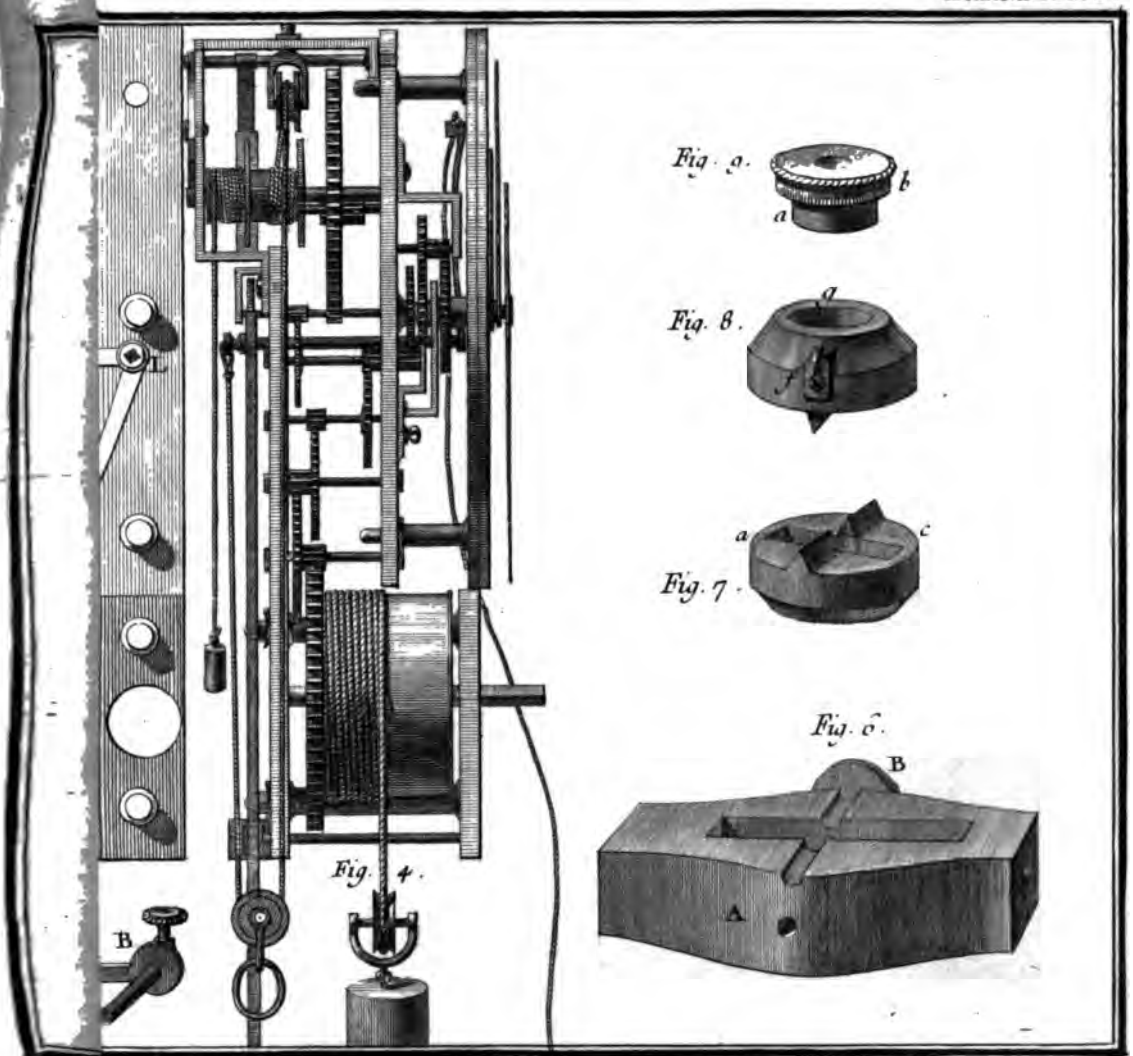


Fig. 1.

Choffard Sculp



P. Choffard Sculp.

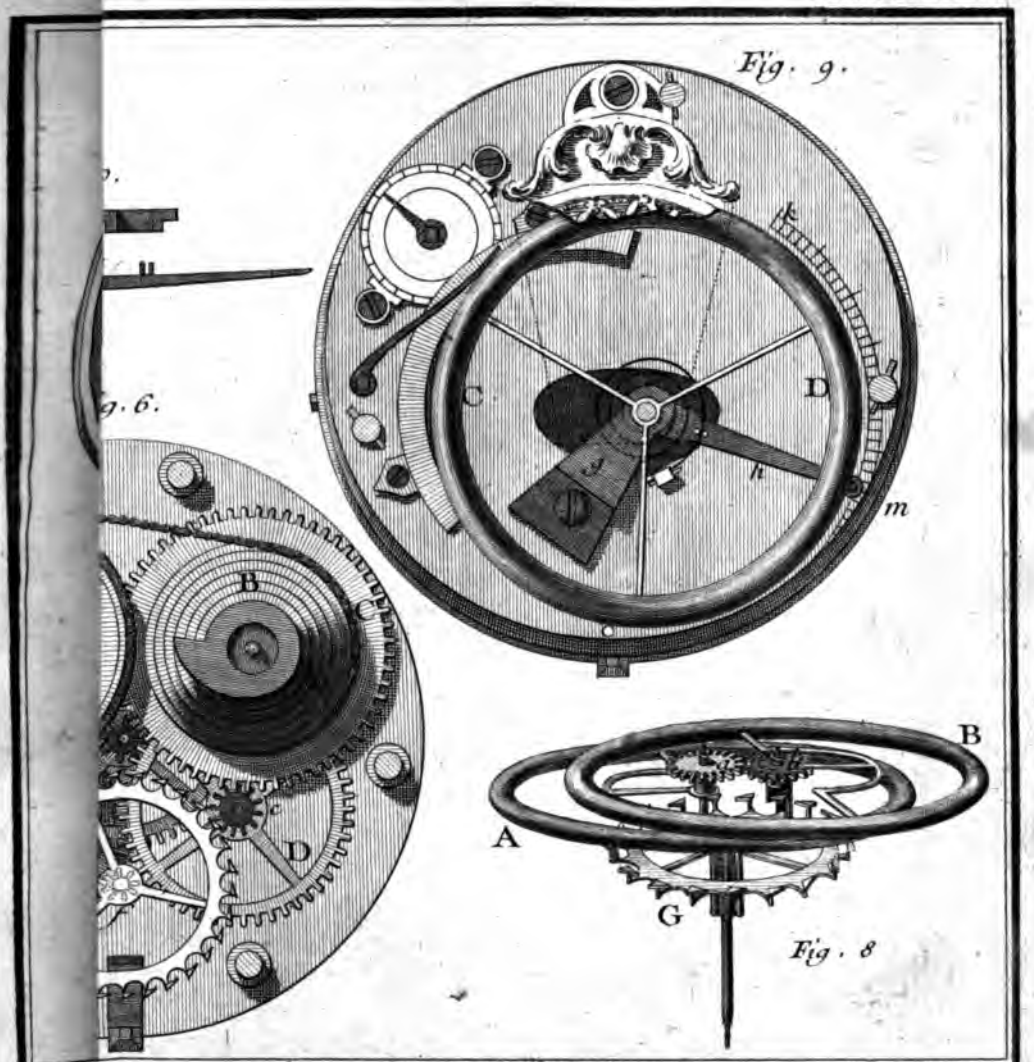
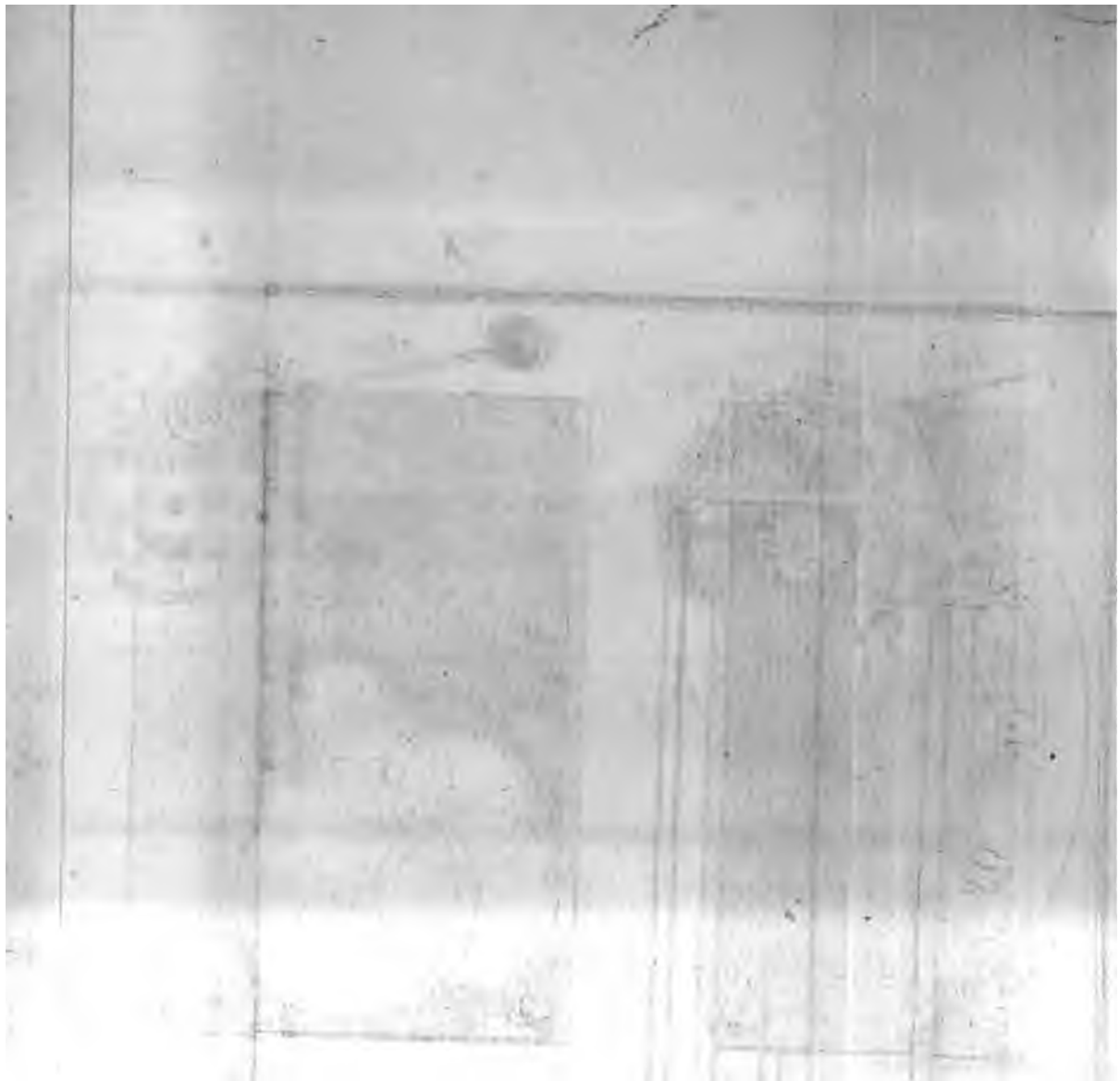


Fig. 6.

Fig. 8

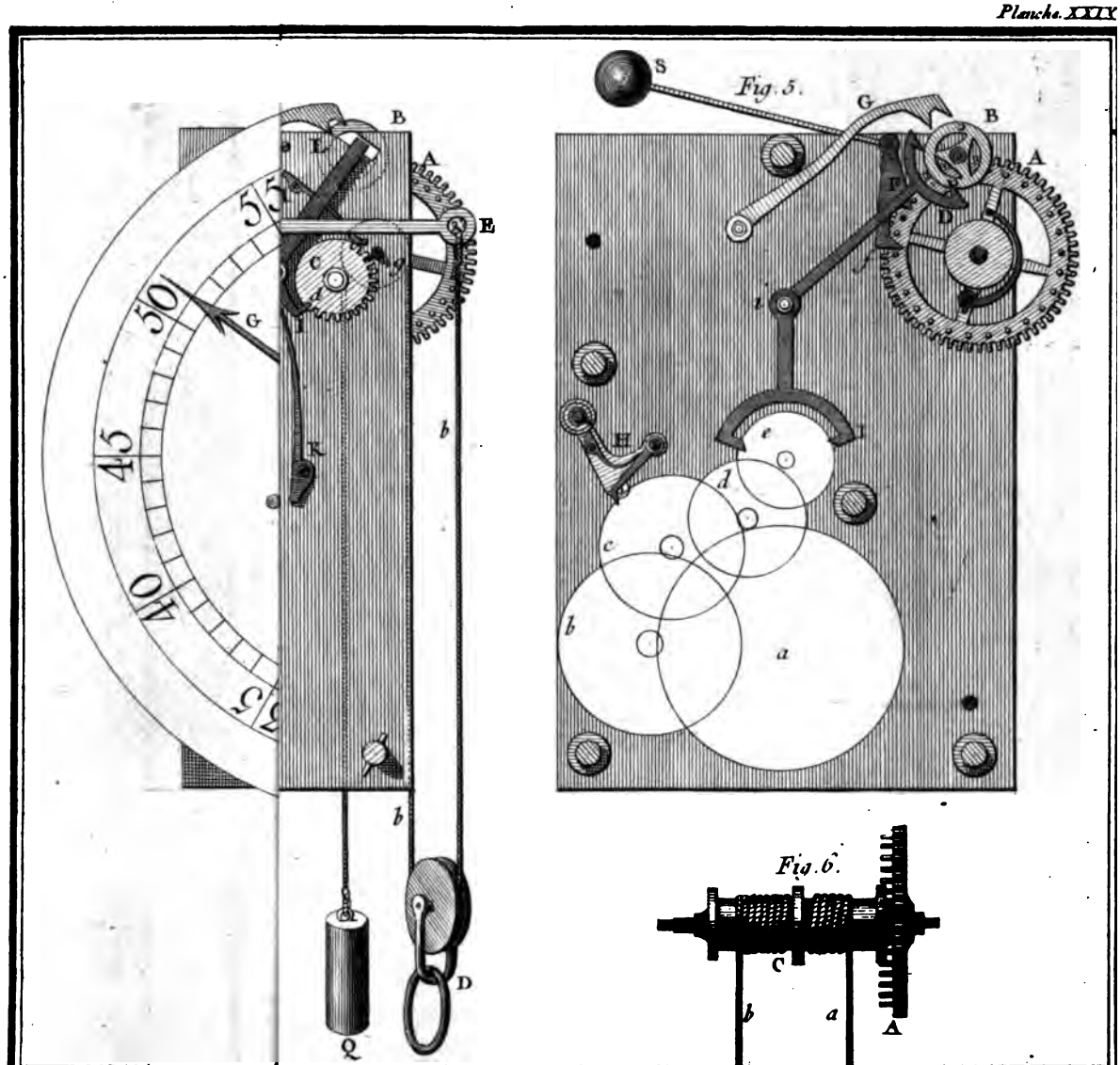
Greffier

B. Choffard Sculp.



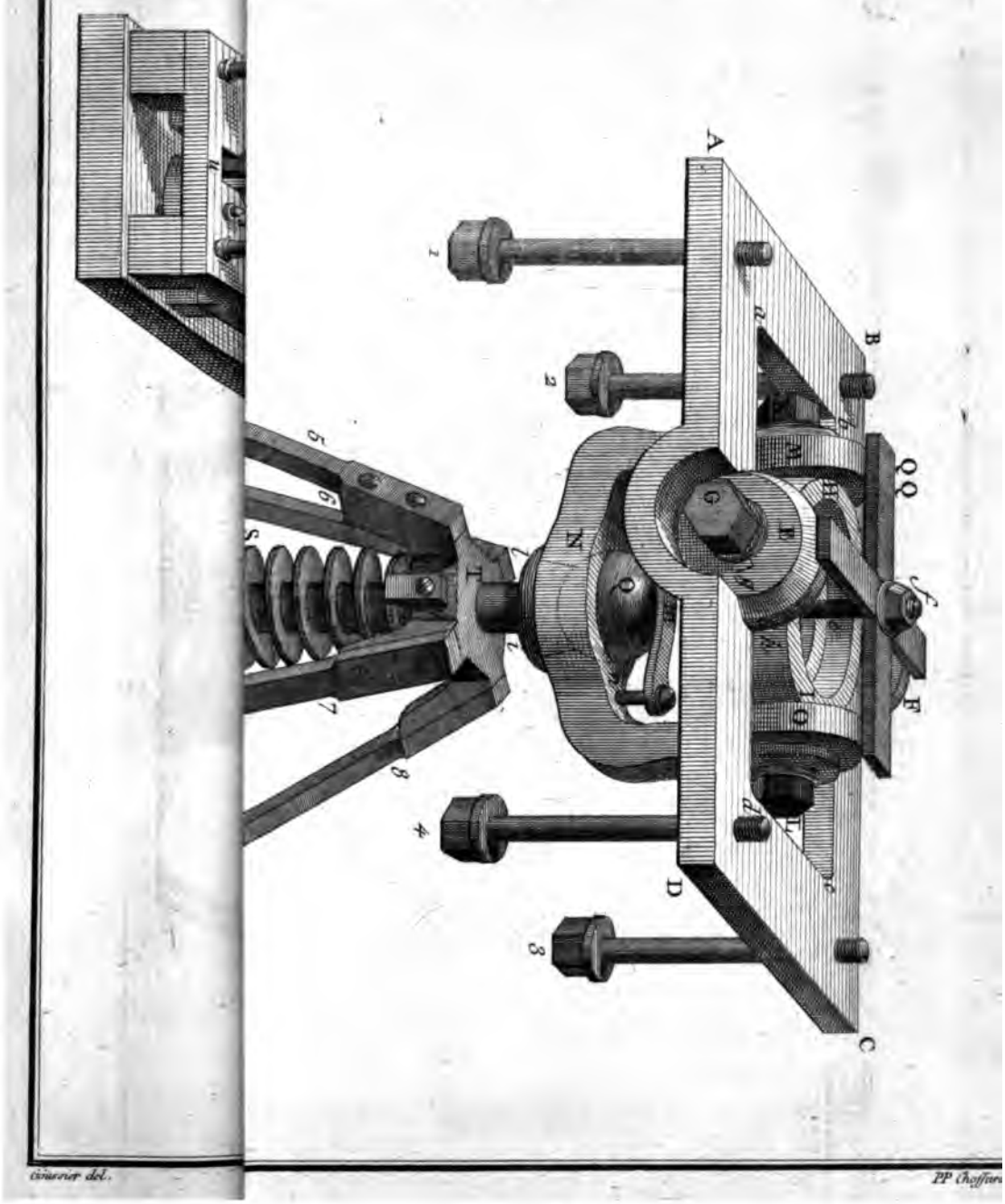
del.

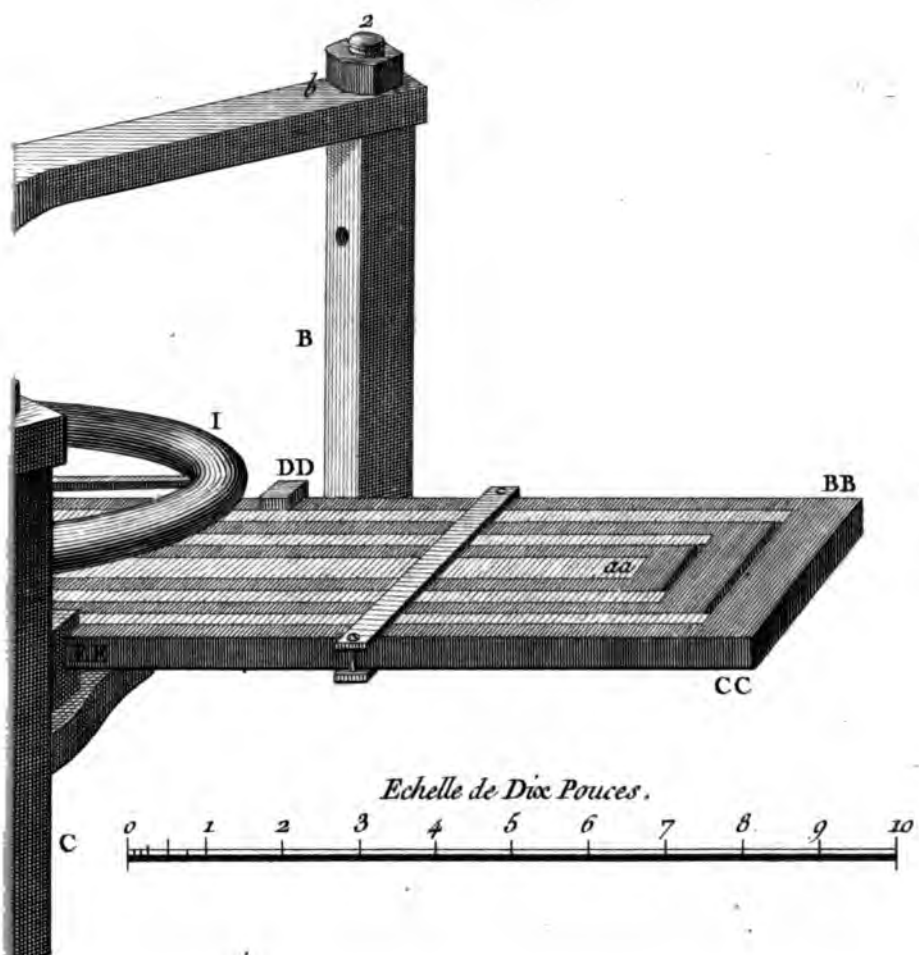
Choffard Sc

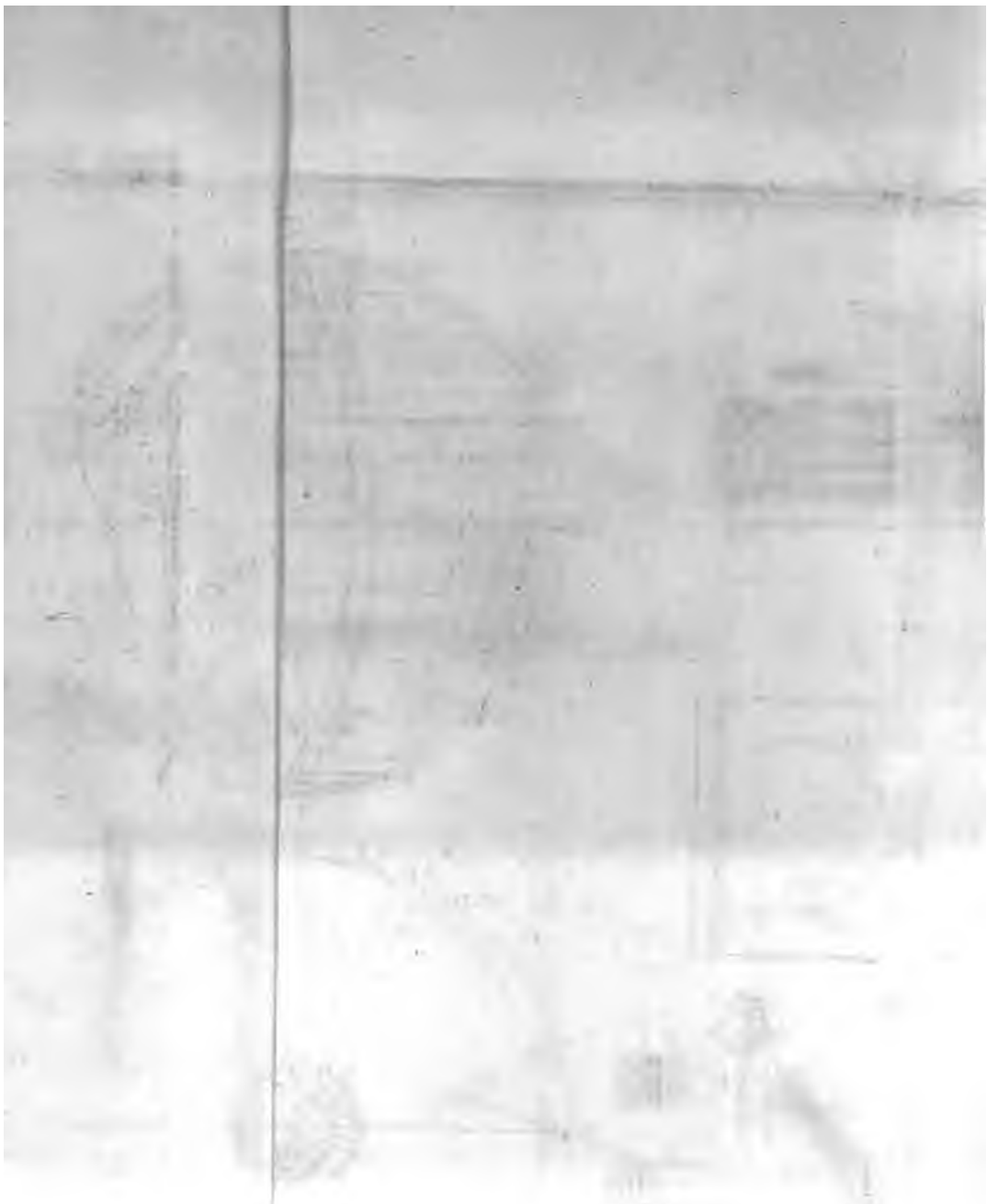


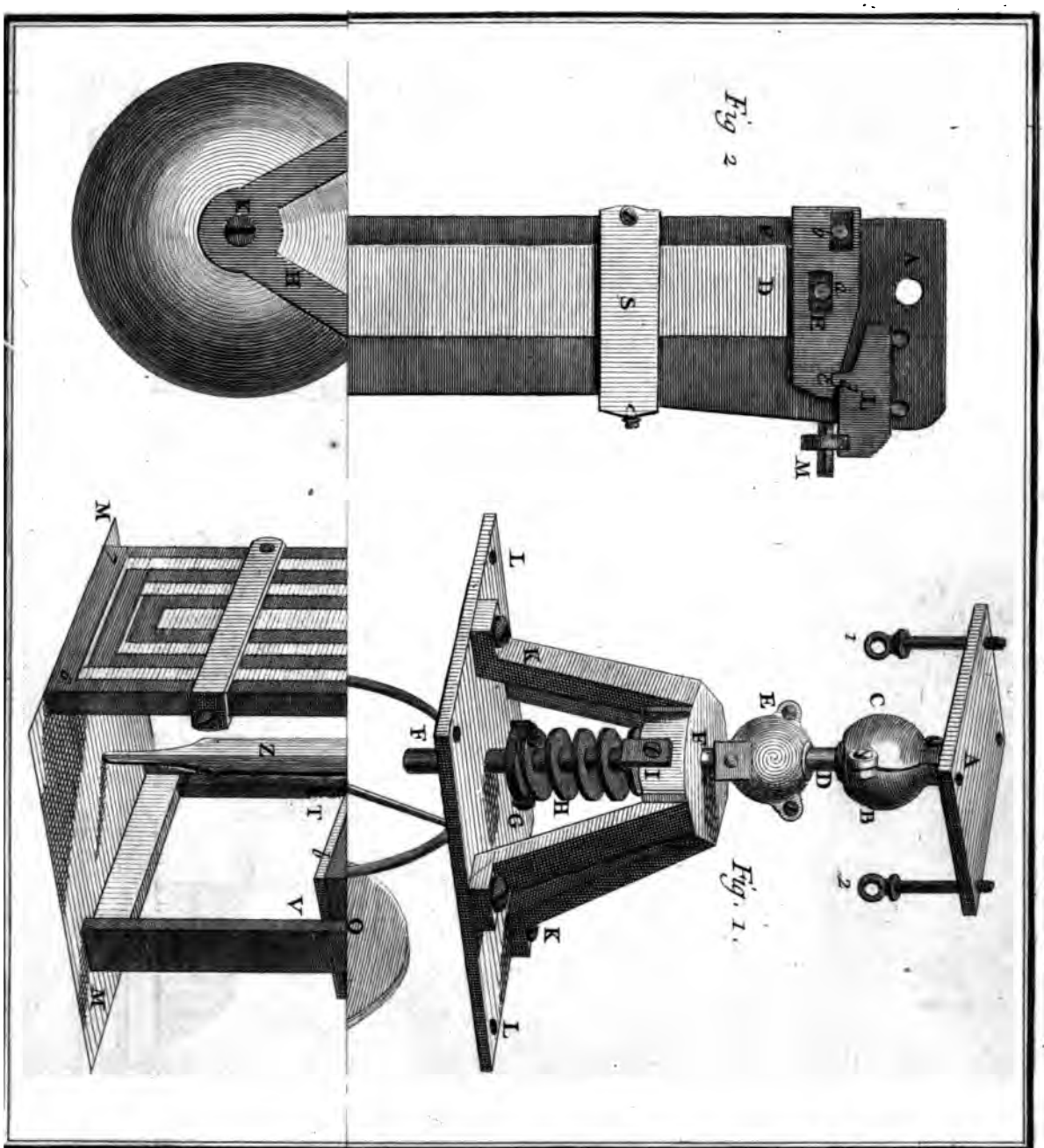
Gousier del.

P. Chesford Sculp.


A
B
C
D
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

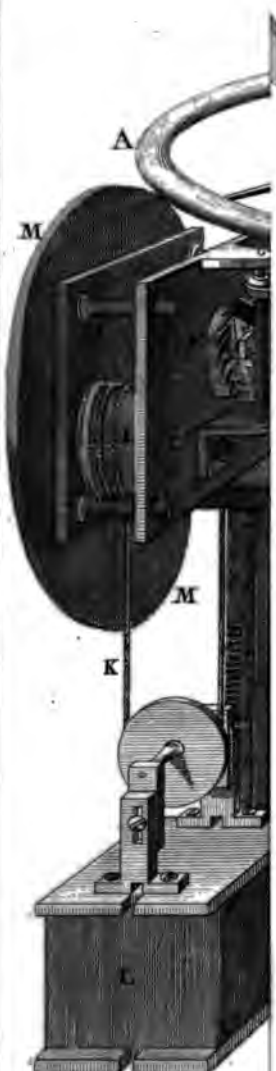

2
b
B
I
DD
BB
aa
CC
Echelle de Dix Pouces.
C
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10





Goussier del.

PP Choffard. sculp.



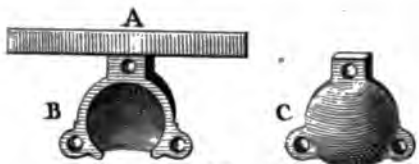


Fig. 6.

Fig. 11.

Fig. 8

Fig. 7.

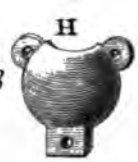


Fig. 10.

Fig. 9.

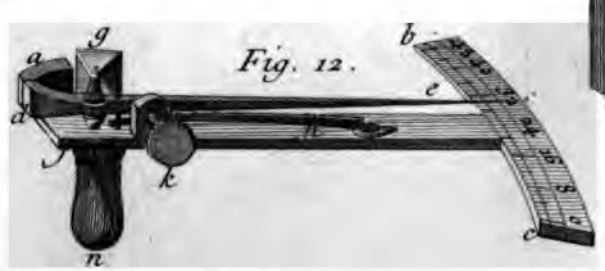
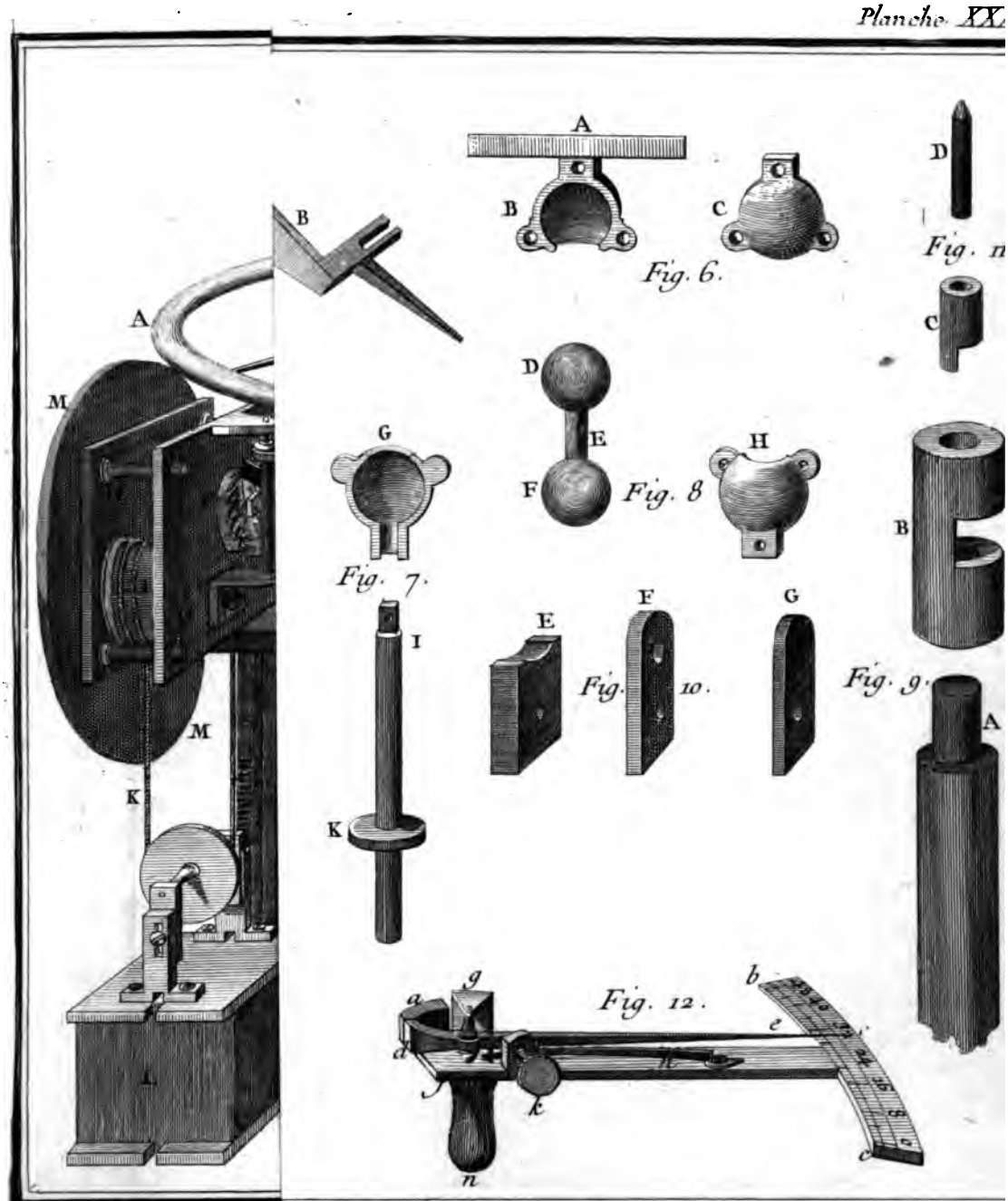


Fig. 12.

Gouarier. del.

PP Choffard sculp.



Goussier. del.

PP Cheffave

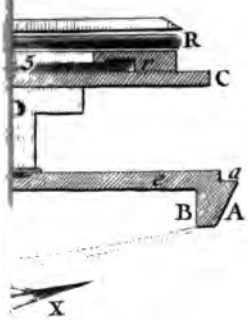


Fig. 7.

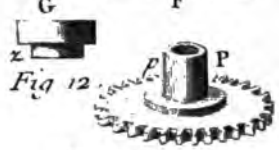
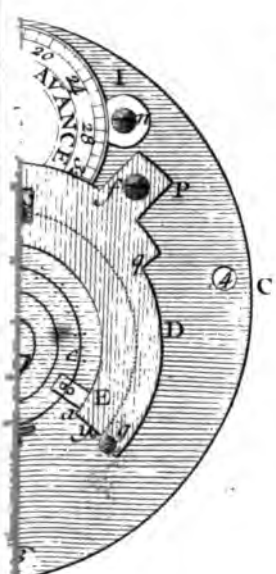


Fig 12.



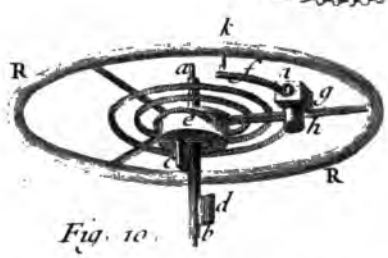


Fig. 10.

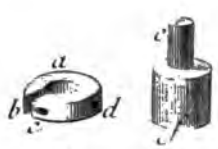


Fig. 11

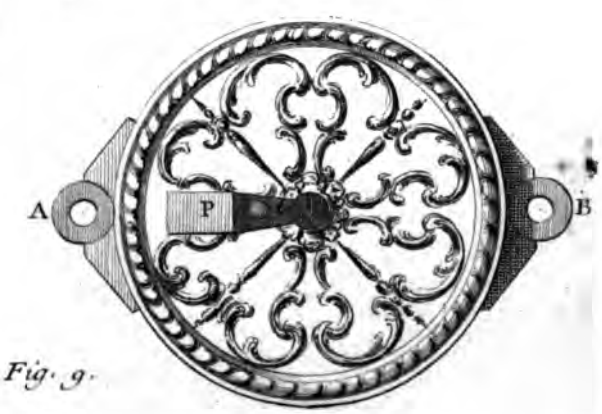
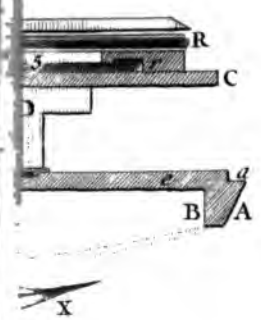


Fig. 9.



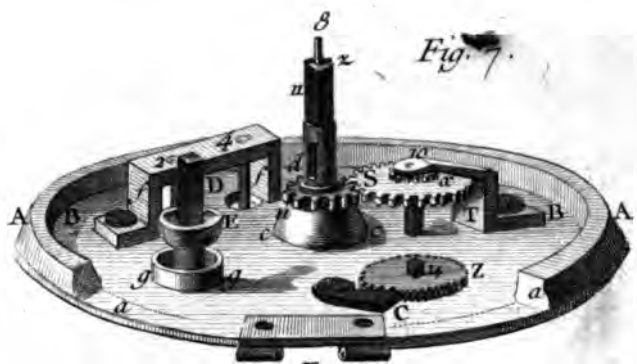


Fig. 7.

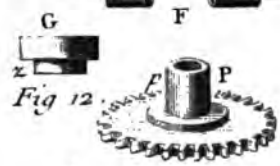
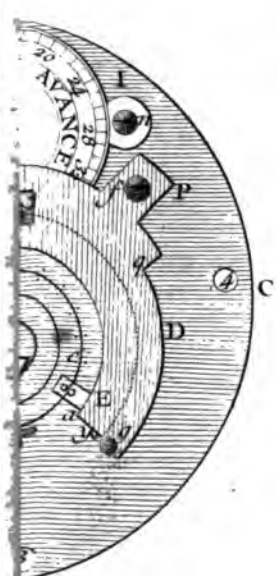


Fig 12.



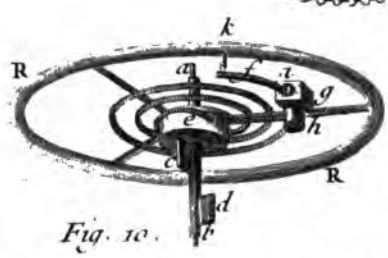


Fig. 10.

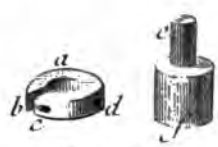


Fig. 11

Fig. 9.

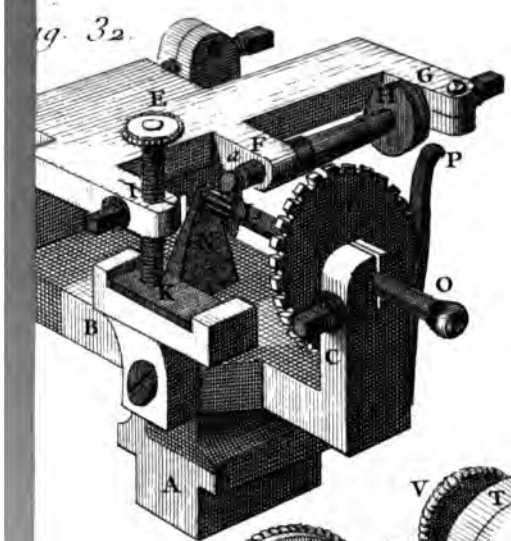
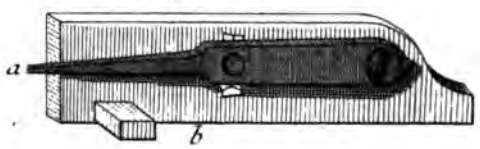


Fig. 24.



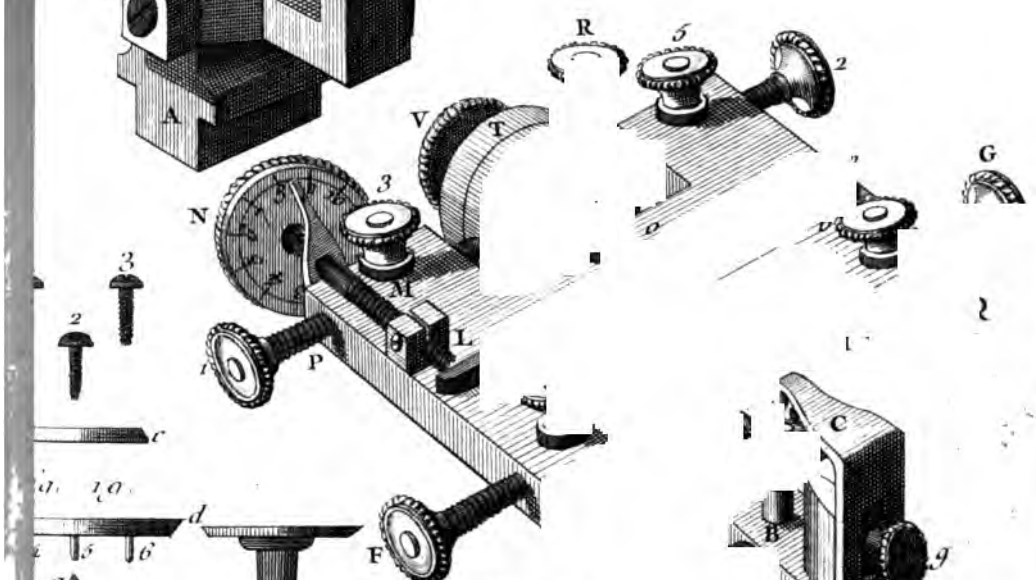


Fig. 23.

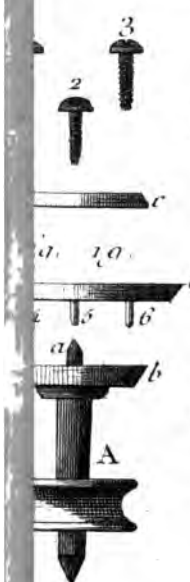


Fig. 20.

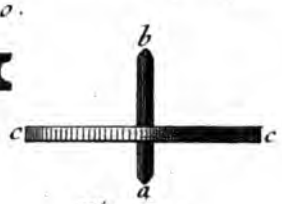
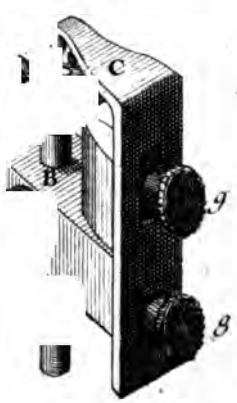
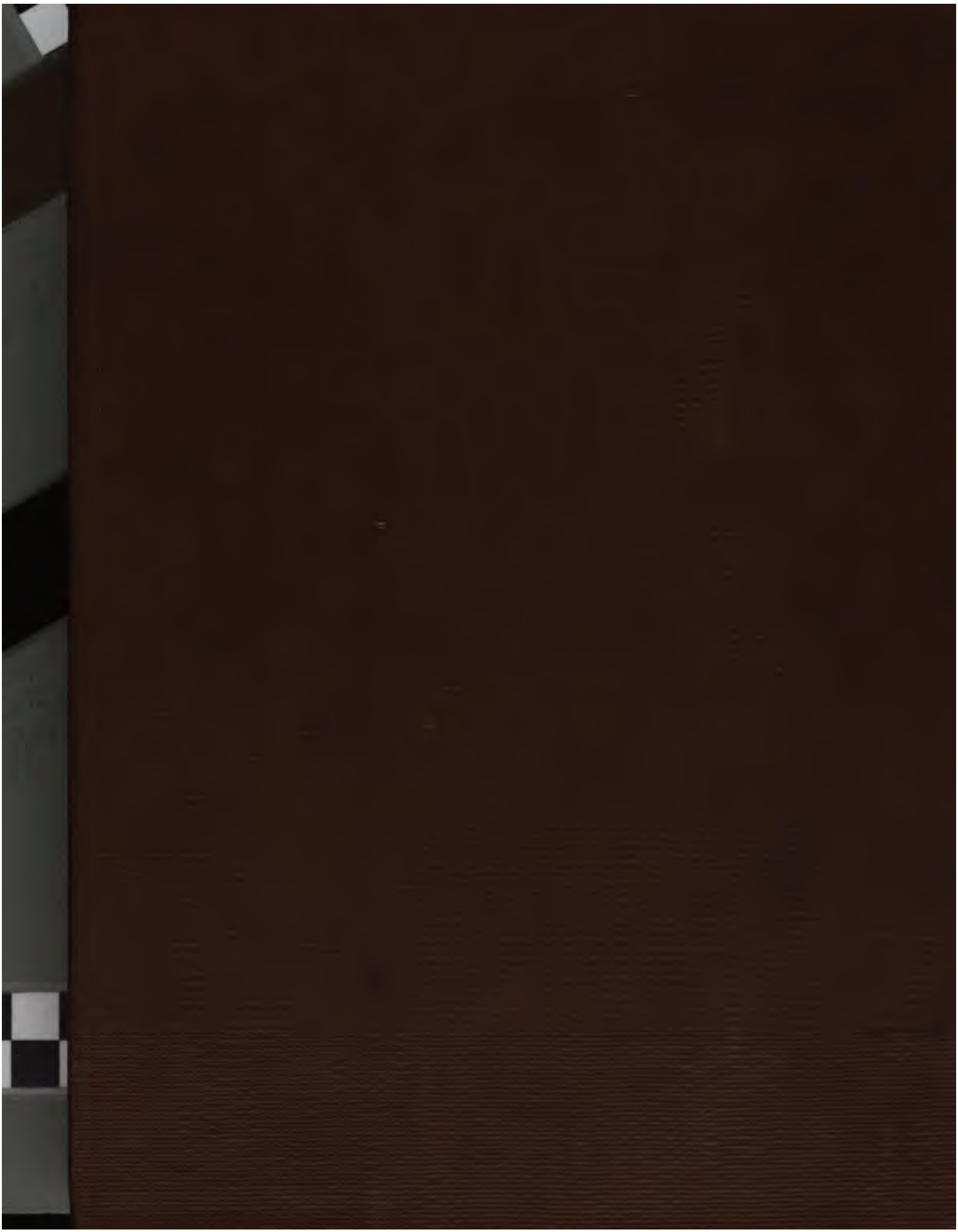


Fig. 21.



P.P. Choffard d. Sculp.